

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Tlakové ventily v pneumatice

Pressure Valves in Pneumatics

Student:

Král Daniel

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Král**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Tlakové ventily v pneumatice**
Pressure Valves in Pneumatics

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte přehled prvků pro řízení tlaku vzduchu, popište jejich konstrukce a charakteristiky.
- 2) Uveďte aplikace a zapojení tlakových ventilů v pneumatickém obvodu.
- 3) Navrhněte experiment a proveďte měření obvodu, ve kterém redukční ventil slouží jako prvek pro úsporu stlačeného vzduchu.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.
BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 pp. ISBN 978-3-540-69470-0
KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0
Katalogy a firemní podklady výrobců pneumatických prvků.

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

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

Datum zadání: 17.02.2014
Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry

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

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou Bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 19. května 2014



.....
Král Daniel

Prohlašuji, že

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

V Ostravě: 19. 5. 2014



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Daniel Král

Adresa trvalého bydliště autora práce: Kravaře, Floriánská 21

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KRÁL, D. *Tlakové ventily v pneumatice: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2014, 46 s. Vedoucí práce: Dvořák, L.

Úkolem této práce je vypracovat přehled prvků pro řízení tlaku vzduchu, popis jejich konstrukce a charakteristiky. Následuje přehled aplikací a zapojení tlakových ventilů v pneumatických obvodech. Praktickou část práce tvoří návrh experimentu a provedení měření obvodu, ve kterém redukční ventil slouží jako prvek pro úsporu stlačeného vzduchu. Všechny dosažené výsledky v měření úspory vzduchu jsou nadále zpracovány a vyhodnoceny tak, že porovnáváme spotřebu vzduchu na pneumatickém obvodu bez redukčního ventilu a s redukčním ventilem nastaveným na dvě různé hodnoty tlaku.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KRÁL, D. *Pressure Valves in Pneumatics: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2014, 46 p. Thesis head: Dvořák, L.

The goal of this work is to develop a set of elements for controlling air pressure, a description of their structure and characteristics. The following is a list of applications and the involvement of pressure valves in pneumatic circuits. The practical part consists of experimental design and the measurement circuit, in which a pressure reducing valve is used as an element for saving the compressed air. All the results obtained in the measurement of air savings are still processed and evaluated by comparing the consumption of air to the pneumatic circuit without reducing valve and pressure reducing valve set at two different pressure levels.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	7
1. Úvod.....	8
2. Rozdělení ventilů.....	9
2.1 Ventily pro řízení tlaku proudu vzduchu.....	9
3. Konstrukce tlakových ventilů.....	10
3.1 Redukční ventily.....	10
3.2 Elektro-Pneumatický převodník.....	18
3.3 Regulátor vakua.....	20
3.4 Pojistné ventily.....	22
3.5 Ventily řízené tlakem.....	23
4. Příklady zapojení.....	25
4.1 Zapojení redukčních ventilů.....	25
4.2 Zapojení pojistných ventilů.....	27
5. Měření úspory vzduchu s redukčním ventilem.....	28
5.1 Metodika měření.....	28
5.2 Výpočet spotřeby vzduchu.....	31
5.3 Charakteristiky motoru s využitím ventilu a bez ventilu.....	36
6. Závěr.....	44
7. Seznam použité literatury.....	45

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
D	Průměr válce	m
d	Průměr pístnice	m
h	Zdvih	m
n	Počet zdvihů	-
p_1	Tlak v prostoru válce	MPa
p_2	Tlak v prostoru pístnice	MPa
V	Objem na jeden cyklus	dm ³
V_H	Objem hadice	dm ³
V_O	Odebraný objem	dm ³
V_P	Objem prostoru pístnice	dm ³
$V_{SMC0,1}, V_{SMCbez}$	Výpočet objemu dle SMC	dm ³
V_V	Objem prostoru pístu	dm ³
$V_{vyp.}$	Vypočtený objem	dm ³

1. Úvod

Pneumatické mechanismy jsou nedílnou součástí výrobních strojů a linek v nejrůznějších oborech lidské činnosti. Můžeme je nalézt jak v průmyslových aplikacích, dopravních prostředcích tak v potravinářství či zdravotnictví. Nedílnou součástí pneumatických mechanismů jsou tlakové ventily, a to především redukční a pojistné. Práce se věnuje konstrukcím jednotlivých typů ventilů a především pak možnostem, jak regulovat tlak vzduchu a tím regulací zajistit úsporu vzduchu.

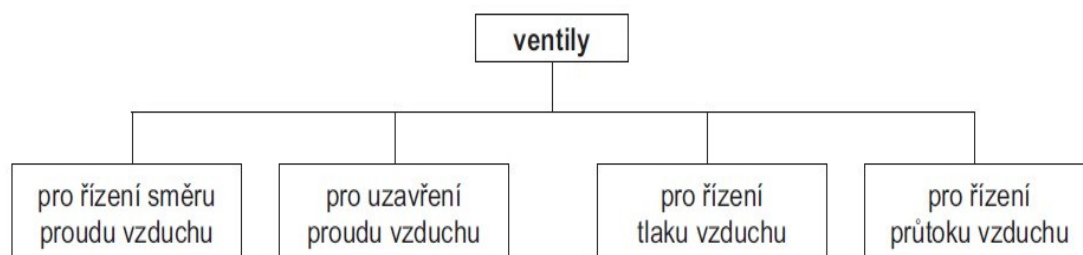
Název práce je tlakové ventily v pneumatice (anglicky Pressure Valves in Pneumatics). První částí je přehled používaných prvků pro regulaci tlaku v pneumatice. U tlakových ventilů nás zajímá jejich princip funkce u každého typu, charakteristiky jejich průběhů tlaku a průtoku při regulaci. Pokud víme, při jakých podmínkách bude ventil pracovat, umíme jej vybrat z daných možností a zařadit do pneumatického obvodu, příkladem je pak přehled možných zapojení pro různá využití.

Druhou část tvoří výpočet spotřeby vzduchu na pneumatickém přímočarém motoru při vysunutí a zasunutí bez tlakového ventilu a s tlakovým ventilem. Výsledky se zjišťují pomocí příslušných senzorů a propočtů.

Na závěr je vyhodnocení experimentu a tím i zjištění jestli je regulace tlaku na pneumatickém přímočarém motoru přínosná k úspoře vzduchu a jak ventil ovlivňuje dynamiku motoru.

2. Rozdělení ventilů

Ventily mají vliv na nositele energie – stlačený vzduch. Mění směr průtoku stlačeného vzduchu, rozdělují jej nebo jej uzavírají. Ke splnění těchto rozdílných požadavků potřebujeme ventily různých provedení. Podle funkce je dělíme na ventily pro řízení tlaku, průtoku a směru průtoku vzduchu. Ventily jsou podle normy ISO 1219 rozděleny podle funkce do základních skupin, a to:



Obr. 1 – Přehled rozdělení ventilů podle funkce. [1]

Ventily pro řízení směru průtoku vzduchu, často nazývané pouze ventily, mění směr průtoku, přičemž otevírají, zavírají nebo propojují přívodní a výstupní kanály v tělese ventilu.

Ventily pro uzavření průtoku vzduchu uzavírají průtok vzduchu v jednom směru. K nim řadíme zpětné ventily, logické ventily atd.

Ventily pro řízení průtoku vzduchu, známé též jako škrtící ventily. Těmito ventily se mění plocha průřezu, kterým protéká proud vzduchu. Převážně se používají k regulaci rychlostí pneumatických motorů.

Ventily pro řízení tlaku průtoku vzduchu, známé jako regulátory tlaku. Do této skupiny patří přetlakové, pojistné ventily a ventily řízené tlakem.

2.1 Ventily pro řízení tlaku vzduchu

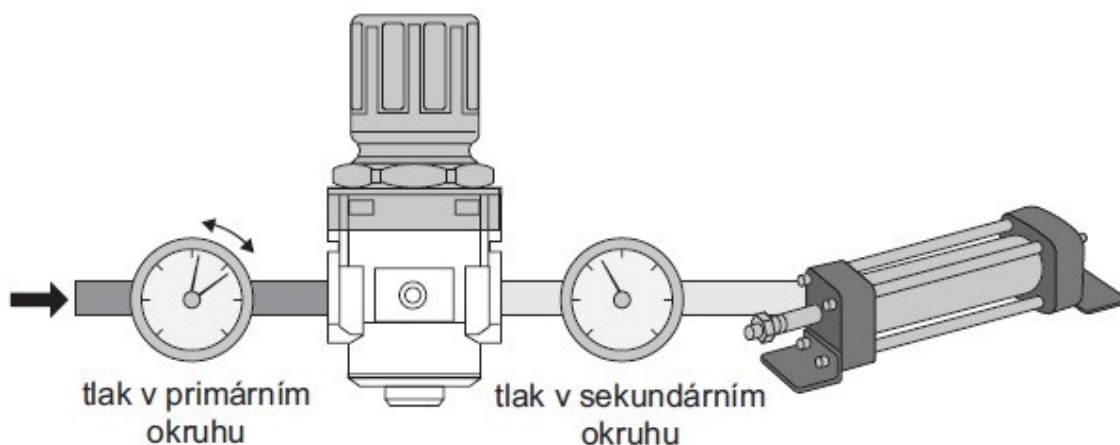
Tlakové ventily využívané v pneumatických obvodech se používají buď k řízení velikosti tlaku, nebo jsou jeho velikostí řízeny.

Podle funkce a provedení se rozlišují:

- redukční ventily
- pojistné ventily
- ventily řízené tlakem

Regulace tlaku vzduchu

Od regulátoru tlaku se vyžaduje, aby udržoval stálou hodnotu tlaku v pracovním – sekundárním okruhu nezávisle na kolísání tlaku a na odebíraném množství vzduchu v dílenském rozvodu stlačeného vzduchu – primární okruh. Tlak vzduchu v dílenském rozvodu musí být vyšší než tlak vzduchu za regulátorem tlaku.



Obr. 2 – Funkce regulátoru tlaku. [1]

3. Konstrukce tlakových ventilů

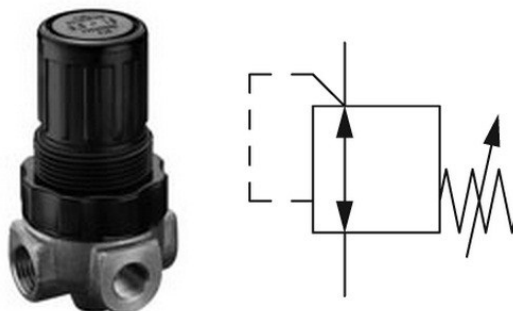
V této kapitole se budeme zabývat konstrukcí tlakových ventilů, které řídí tlak vzduchu, nebo jsou řízené tlakem vzduchu.

3.1 Redukční ventily

Udrží konstantní hodnotu nastaveného tlaku, tj. výstupní tlak je konstantní nezávisle na změnách vstupního tlaku (tlaku v rozvodné síti). Minimální hodnota vstupního tlaku však musí být vyšší než nastavený výstupní tlak. Kromě názvu „Redukční ventily“ se jim také říká „Regulátory tlaku“.

Redukční ventil bez odfuku do atmosféry

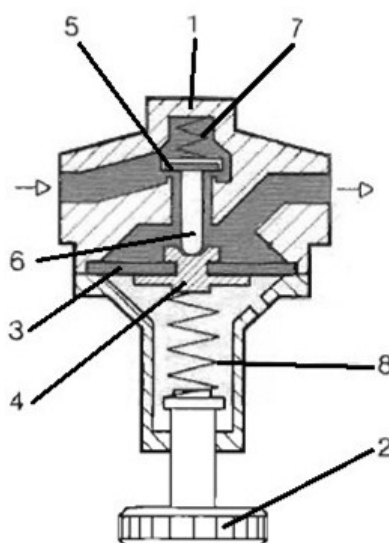
Používají se také redukční ventily, které udržují nastavenou hodnotu výstupního tlaku bez odfuku do atmosféry.



Obr. 3 – Příklad redukčního ventilu bez odfuku od firmy Rexroth Bosch. [4]

Princip činnosti

Stavěcím šroubem (2) je nastaveno předpětí pružiny (8) a tím i současně předpětí membrány (3). Tím je nastavena velikost průtoku, neboť zdvihátko ventilu otevře více či méně průtočný průřez ventilu. Jestliže se zvýší tlak na výstupní straně, prohne se membrána proti síle pružiny (1), ta přitlačí zdvihátko (6) tak, že se uzavře průtok ventilovým sedlem (5). Teprve po poklesu tlaku na výstupní straně se zdvihátko zvedne a vzduch opět může proudit ze vstupu na výstup.

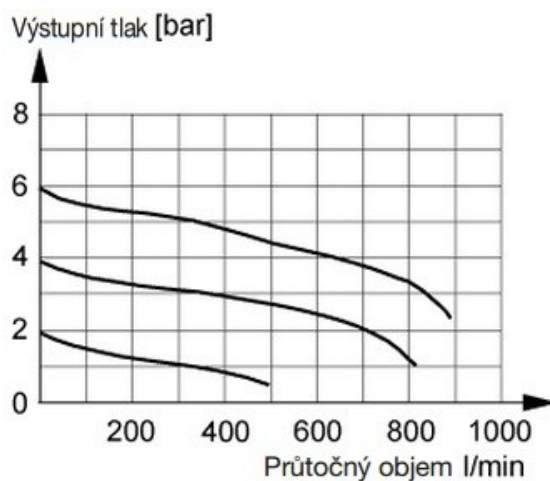


Obr. 4 – Redukční ventil bez odfuku do atmosféry (Dvoucestný redukční ventil). [2]

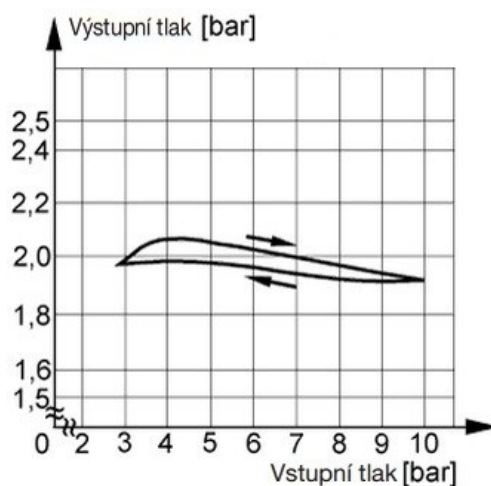
Charakteristika ventilu:

Charakteristika redukčního ventilu bez odvodu do atmosféry je dána závislostí výstupního tlaku na vstupním, nebo výstupní tlak na průtočný objem. Tento příklad charakteristiky slouží k správnému výběru ventilu pro pneumatický obvod, do kterého bude zakomponován.

Z grafu (Obr. 5) jde vyčíst, že s rostoucím průtočným objemem klesá výstupní tlak.



Obr. 5 – Charakteristika redukčního ventilu bez odvodu v závislosti výstupního tlaku na průtočném objemu. [4]

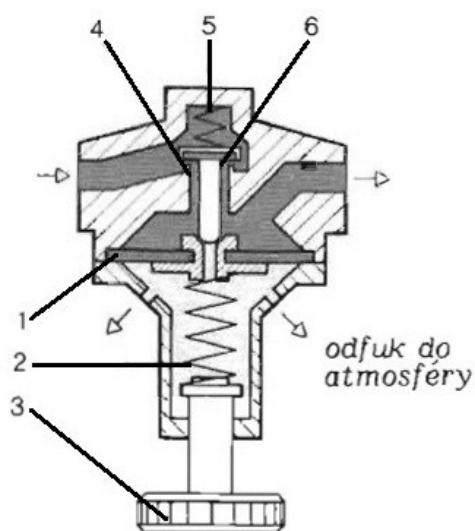


Obr. 6 – Charakteristika redukčního ventilu bez odvodu v závislosti výstupního tlaku na vstupním tlaku. [4]

Redukční ventil s odfukem do atmosféry

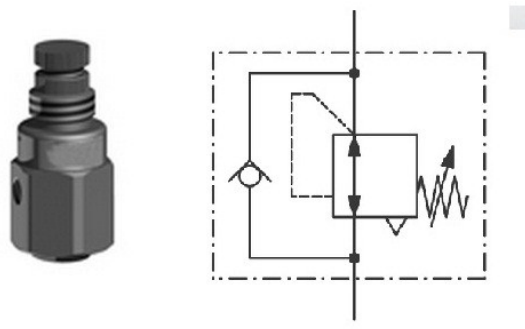
Redukční ventil udržuje na svém výstupu konstantní tlak (tzv. sekundární tlak) i při kolísání tlaku rozvodné sítě (tj. primárního tlaku) a proměnné spotřebě vzduchu. Primární tlak (tj. tlak na vstupu) musí být vždy větší než sekundární tlak (tj. tlak na výstupu). Hodnota výstupního tlaku je udržována membránou (1) - na jednu stranu membrány působí výstupní tlak, na její druhou stranu působí síla pružiny (2), nastavitelná šroubem (3). Při zvýšení tlaku se membrána prohne proti síle pružiny a tím průtočný průřez na ventilovém sedle (4) přivře, ev. zcela uzavře. Je tedy výstupní tlak regulován protékajícím množstvím vzduchu. Při zvýšení odebíraného množství tlak klesne a pružina začne otvírat ventil. Regulace nastavitelné hodnoty výstupního tlaku se tedy dosahuje stálým otvíráním nebo přivíráním průtočného průřezu ventilového sedla (4). Aby nedocházelo k rozkmitání, je pohyb ventilového dříku (6) tlumen (např. mechanicky pružinou (5)). Nastavený výstupní tlak je většinou měřen a ukazován zabudovaným tlakoměrem.

Při náhlém zvýšení tlaku na výstupní straně, nebo při nastavení průtoku na nižší hodnotu tlaku, se membrána prohne proti pružině a po uzavření ventilku (6) se pak dále ještě otevře průtočný otvor ve středové části membrány a umožní snížení tlaku odfukem do atmosféry.



Obr. 7 – Redukční ventil s odfukem do atmosféry (Třícestný redukční ventil). [2]

Redukční ventily s odfukem do atmosféry mohou být konstruovány s jednosměrným ventilem bez pružiny. Redukují se buď šestihranem zapaštěným ve ventilu, nebo pootočením nastavitelného šroubu. Funkce tohoto ventilu pomáhá šetřit vzduch, tím i peníze za výrobu vzduchu. Příklad použití je uveden v kapitole 4.



Obr. 8 – Příklad redukčních ventilů s odfukem do atmosféry v kombinaci s jednosměrným ventilem bez pružiny od Rexroth Bosch. [4]



Obr. 9 - Příklad redukčních ventilů s odfukem do atmosféry v kombinaci s jednosměrným ventilem bez pružiny od Rexroth Bosch. [4]

Charakteristika ventilu:

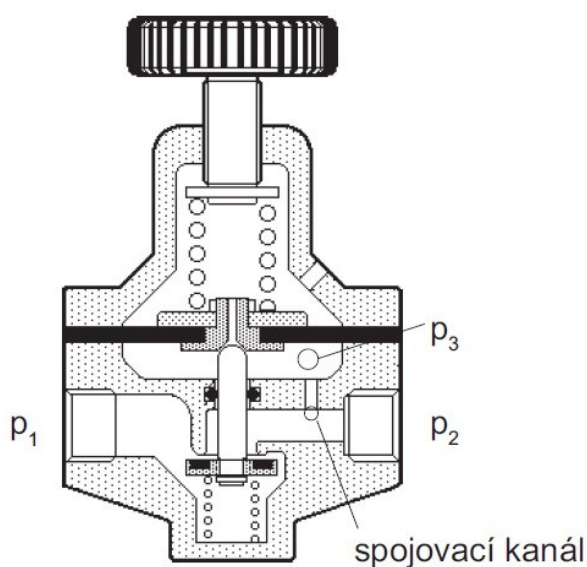
Charakteristika redukčního ventilu s odfukem do atmosféry je dána závislostí výstupního tlaku na vstupním, nebo výstupní tlak na průtočný objem. Tento příklad charakteristiky slouží k správnému výběru ventilu pro pneumatický obvod, do kterého bude zakomponován. Charakteristiky jsou obdobné jako u redukčních ventilů bez odfuku viz. 3.1.

Redukční ventil s kompenzací průtoku

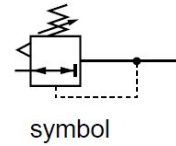
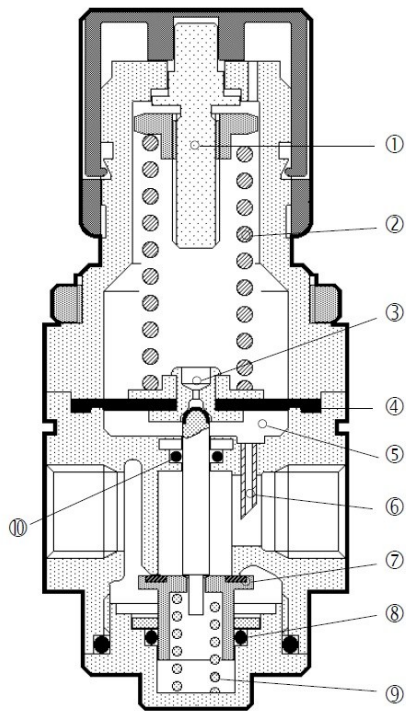
Při velké rychlosti proudění se ventil regulátoru tlaku více otevře. Pružina nastavení regulátoru se prodlouží o cca 10 % a tím se také zmenší její síla. Poměr síly pružiny k síle vyvolané tlakem vzduchu na plochu membrány se zhoršuje úměrně s prodloužením pružiny a zhoršuje tak přesnost regulace nastaveného tlaku.

Tento problém řeší vytvoření třetí komory p_3 v tělese regulátoru. Komory p_2 a p_3 jsou propojeny spojovacím kanálem. Proudí-li vzduch vyšší rychlosti kolmo na osu spojovacího kanálu, vytvoří se v komoře p_3 podtlak, odpovídající tlaku a průtoku v sekundárním okruhu. Čím vyšší bude rychlost proudění, tím větší bude rozdíl tlaků a tím více se prohne membrána a otevře ventil. Tím se vyrovná úbytek síly, způsobený prodloužením pružiny.

Trubička, vložená do spojovacího kanálu (Obr. 11), jejíž volný konec seříznutý pod úhlem 45° zasahuje do poloviny kanálu sekundárního tlaku, zesílí účinnost působení podtlaku.



Obr. 10 – Princip regulátoru s kompenzací průtoku. [1]



Základní díly:

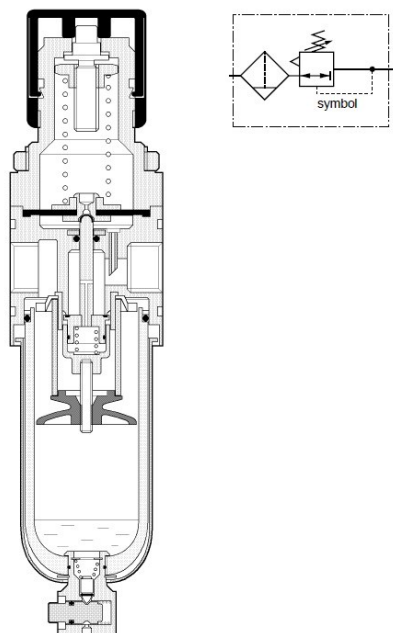
- ① nastavovací šroub
- ② šroubová pružina nastavení regulátoru
- ③ odvzdušnění sekundárního okruhu
- ④ membrána
- ⑤ komora kompenzace průtoku
- ⑥ trubka spojení sekundárního okruhu s komorou kompenzace průtoku
- ⑦ ventil
- ⑧ těsnění kompenzace tlaku
- ⑨ šroubová pružina ventilu
- ⑩ těsnění kompenzace průtoku

Obr. 11 – Plně kompenzovaný regulátor s odvětráním sekundárního otvoru. [1]

U tohoto ventilu díky kompenzaci průtoku dochází ke zlepšení charakteristik, má je ale obdobné jako redukční ventil bez odvětrání do atmosféry.

Regulátor tlaku v kombinaci s filtrem vzduchu

Tento prvek sdružuje v jeden funkční celek základní - standardní filtr, odlučovač kondenzátu a regulátor tlaku vzduchu. Vyčištěný tlakový vzduch je pak přes redukční ventil veden ke spotřebičům.



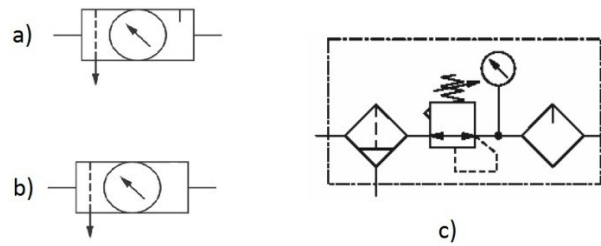
Obr. 12 – Regulátor tlaku v kombinaci s filtrem. [1]

Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu

Redukční ventily s odfukem do atmosféry se také používají v modulárních jednotkách pro úpravu stlačeného vzduchu. Redukční ventil zde redukuje tlak přivedený do rozprašovače oleje.



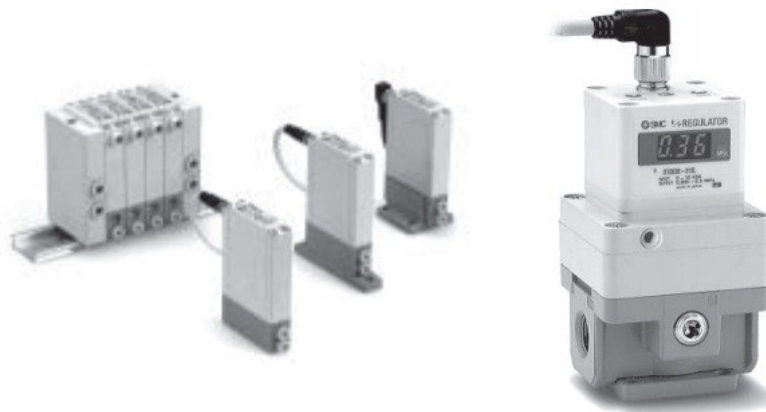
Obr. 13 – Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu s využitím redukčního ventilu.[4]



Obr. 14 – Zjednodušená značka (a), Zjednodušená značka bez tlakového mazání (b), Rozkreslená značka pro úpravu stlačeného vzduchu (c) [3]

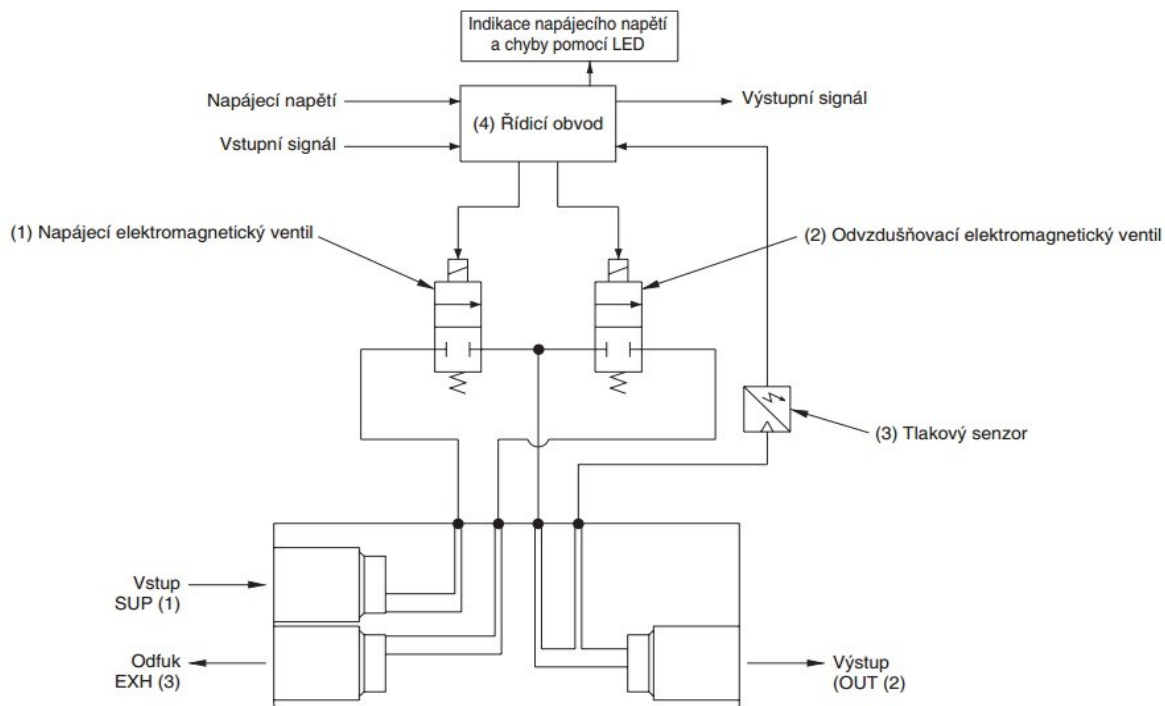
3.2 Elektro-Pneumatický převodník

Tyto převodníky slouží k nastavování a řízení tlaku vzduchu proporcionálně k úrovni vstupního elektrického signálu. Při tlakově vyváženém stavu nemá vlastní spotřebu vzduchu. Rozsah regulace převodníku je od $0,0001 \div 0,9$ MPa.



Obr. 15 – Elektro-pneumatický převodník, kompaktní konstrukce (vlevo), standartní konstrukce (vpravo). [8]

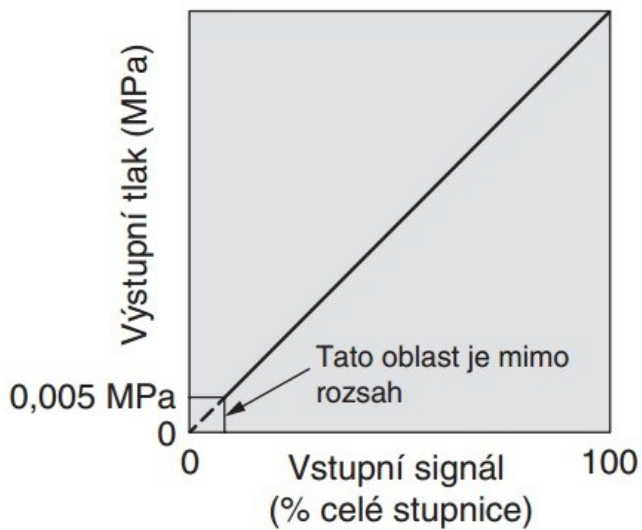
Funkční princip je takový, pokud se zvyšuje vstupní signál, aktivuje se napájecí elektromagnetický ventil (1). Díky tomu projde část napájecího tlaku přes napájecí elektromagnetický ventil (1) a změní se na výstupní tlak. Tento výstupní tlak se vrací zpět přes tlakový senzor (3) do řídicího obvodu (4). Řídící elektronika vyrovnává tlak tak dlouho, až je výstupní tlak úměrný vstupnímu signálu.



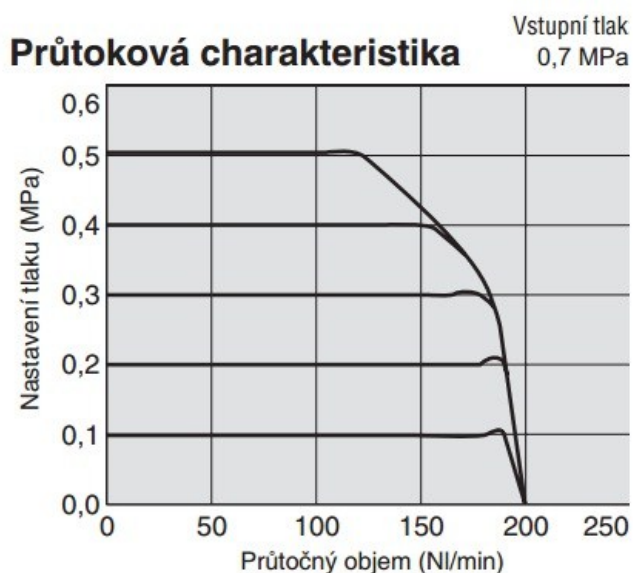
Obr. 16 – Příklad principu funkce pro elektro-pneumatický převodník. [8]

Charakteristiky elektro-pneumatického převodníku

Jmenovitý tlak



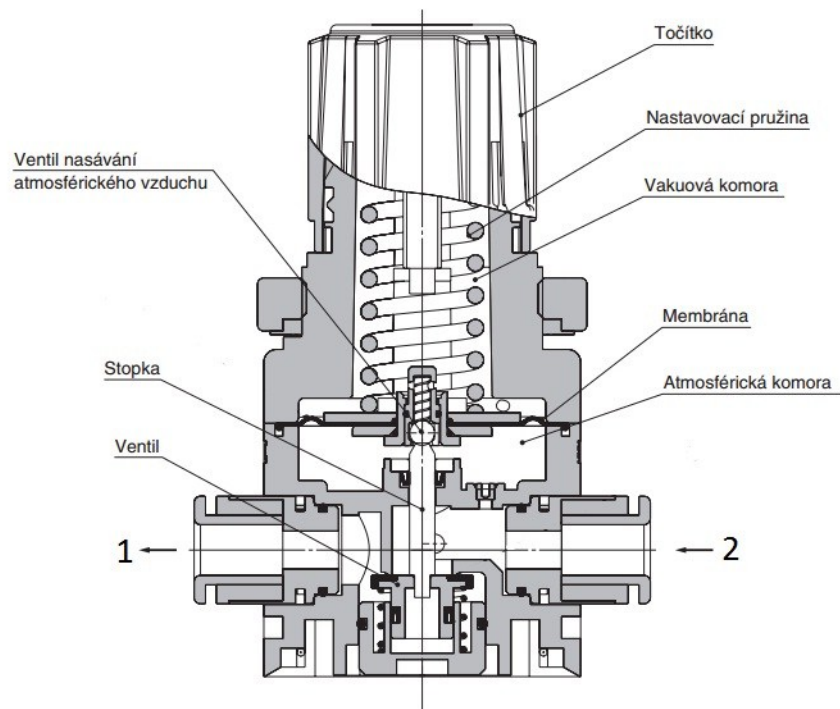
Obr. 17 – Tlaková charakteristika elektro-pneumatického převodníku. [8]



Obr. 18 – Průtoková charakteristika elektro-pneumatického převodníku. [8]

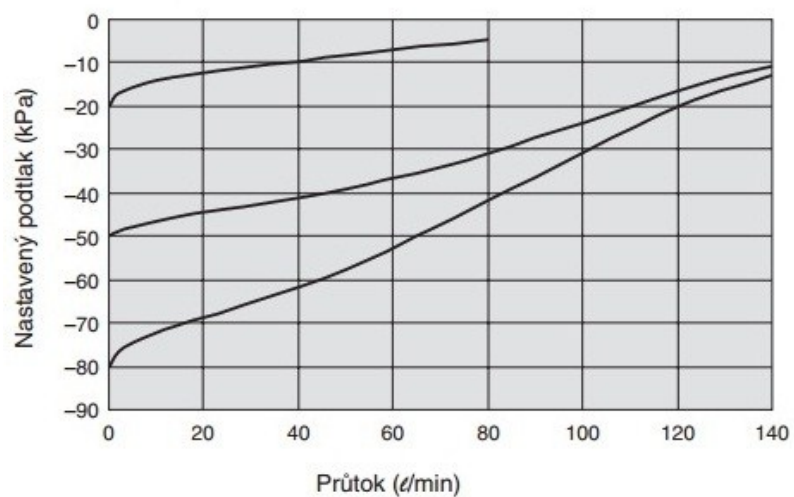
3.3 Regulátor Vakua

Tento prvek udržuje v rozvodu sání podtlak na požadované hodnotě. Má obdobnou konstrukci jako redukční ventily s opačným principem, udržovat podtlak. Princip funkce je takový, jestliže pootočíme ovládacím točítkem doprava, nastavovací pružina je stlačena a svou silou působí na membránu a ventil. To způsobí propojení stran 1 a 2 a hodnota vakua na straně 2 se zvýší. Kromě toho se hodnota vakua ze strany 2 dostane přes kanálek do vakuové komory, kde působí na horní stranu membrány a tím proti síle nastavovací pružiny, to upraví hodnotu vakua na straně 2. Jakmile je hodnota vakua na straně 2 vyšší než hodnota nastavená, rovnováha mezi silou nastavovací pružiny a hodnotou vakua ve vakuové komoře je porušena a membrána je tlačena vzhůru. To způsobí, že hlavní ventil je uzavřen a naopak ventil nasávání atmosférického vzduchu otevřen, čímž umožní proniknutí atmosférického vzduchu na stranu 2. Pokud je v rovnováze síla nastavovací pružiny a tlak na straně 2, je požadovaný tlak na straně 2 nastaven. Pokud je hodnota vakua na straně 2 nižší než nastavená hodnota, rovnováha mezi silou nastavovací pružiny a hodnotou vakua ve vakuové komoře na straně 2 je porušena a membrána je tlačena dolů. To způsobí, že ventil je otevřen a naopak ventil nasávání atmosférického vzduchu uzavřen, což umožní proniknutí vzduchu na stranu 1. Jakmile je opět síla nastavovací pružiny a tlak na straně 2 v rovnováze, je požadovaný tlak na straně 2 nastaven.

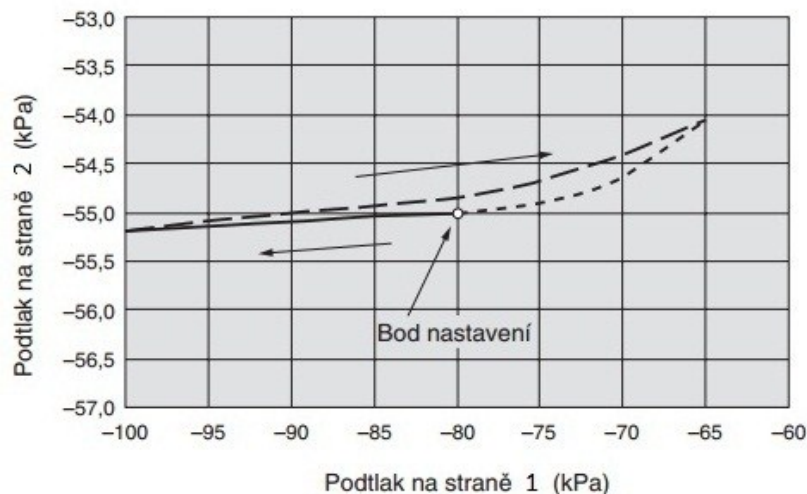


Obr. 19 – Konstrukce regulátoru vakua. [8]

Charakteristiky regulátoru vakua jsou průtokové a tlakové, přičemž rozsah tlaků se může měnit v závislosti na tlaku zdroje vakua.



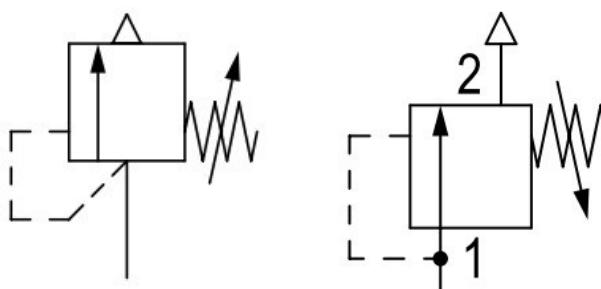
Obr. 20 – Průtoková charakteristika regulátoru vakua. [8]



Obr. 21 – Tlaková charakteristika regulátoru vakua. [8]

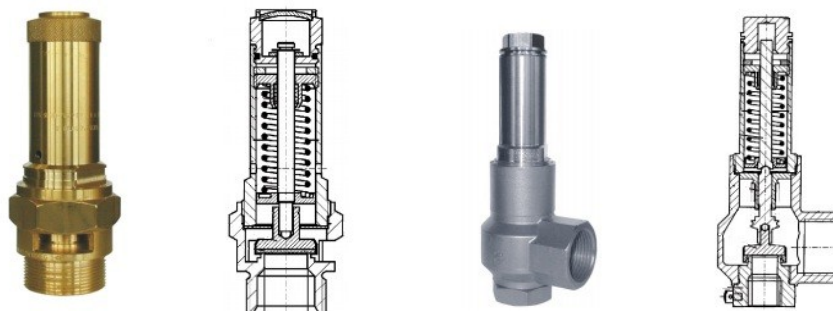
3.4 Pojistné ventily (Omezovací)

Jsou používány především jako pojistné (přetlakové) ventily. Omezují maximální hodnotu tlaku a nedovolí její překročení. Stoupne-li tlak v obvodu na nastavenou maximální hodnotu, otevře ventil odfuk do atmosféry. Otevření trvá až do poklesu tlaku na přípustnou hodnotu, pak se opět uzavře odfuk do atmosféry. Velikost tlaku je nastavena předpětím pružiny ventilu, pomocí šroubu na tlakovém ventilu. Charakteristika ventilu je určena charakteristikou použité pružiny.



Obr. 22 – Značky pro pojistný ventil. [3]

Narazil jsem na dvě konstrukční provedení pojistného ventilu a to s odvodem vzduchu do prostoru umístění ventilu (atmosféry) a provedení s odvodem vzduchu pomocí připojeného vedení mimo pracovní prostor. V obou případech je velikost tlaku k překonání daný předpětím pružiny.



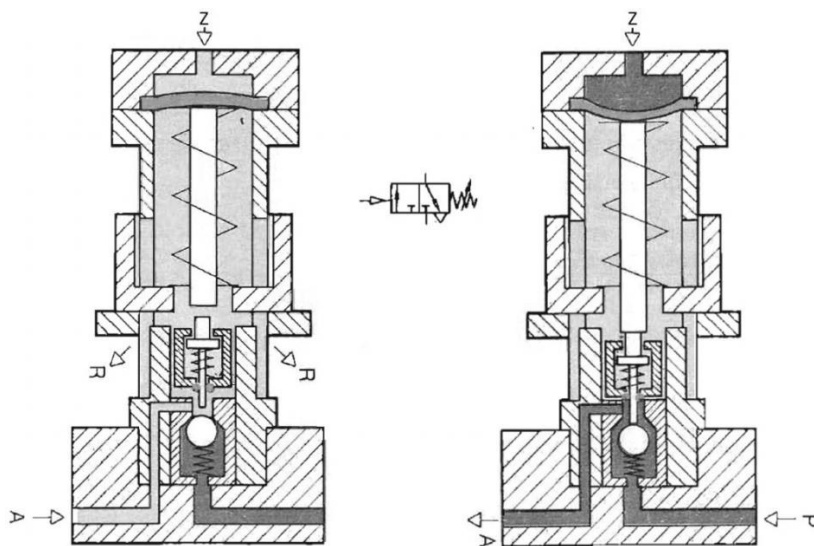
Obr. 23 – Konstrukce pojistných ventilů (S odvodem vzduchu přes prostor pružiny, S odvodem vzduchu před prostorem pružiny) [6]

Příkladem uvedení v praxi může být použití k regulaci odfukem za kompresorem, například nákladní automobily, autobusy.

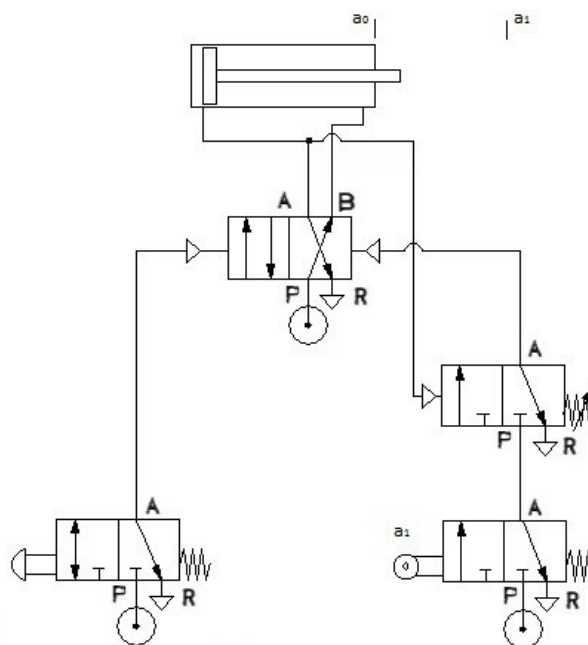
3.5 Ventily řízené tlakem

U ventilů řízených tlakem (obr. 24) je funkce obdobná jako u pojistných ventilů. Řídící tlak působí na vstupu Z na membránu ventilu. Překročí-li síla vyvolaná tímto tlakem předpětí pružiny ventilu, membrána přestaví ventil a uvolní průchod z P do A.

Tyto ventily se používají pro řízení jiných pneumatických prvků v závislosti na tlaku. Výstupní signál vznikne až po dosažení nastavené velikosti řídicího tlaku.



Obr. 24 – Ventil řízený tlakem (Blokovací ventil) [2]



Obr. 25 – Schéma zapojení ventilu řízeného tlakem. [2]

Pokud je pístnice vysunuta do koncové polohy a_1 a zároveň je dosaženo požadovaného tlaku v prostoru pístu, teprve tehdy se může pístnice zasunout, na hlavní rozváděč přijde signál zprava.

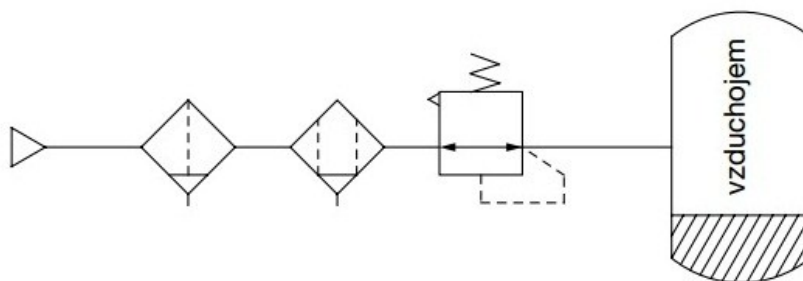
4. Příklady zapojení tlakových ventilů

4.1 Zapojení redukčních ventilů

V této kapitole budou uvedeny příklady zapojení tlakových ventilů do obvodu v různých aplikacích.

Konstantní tlak vzduchu

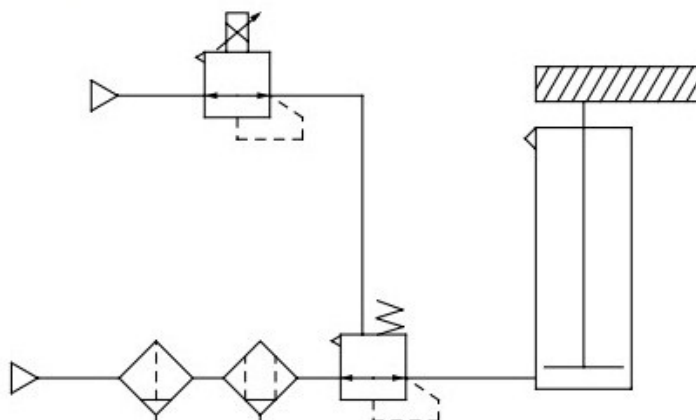
- velký objem vzduchu protékajícího regulátorem umožňuje rychlé vyrovnání tlaku na požadovanou hodnotu.



Obr. 26 – Schéma zapojení redukčního ventilu pro udržení konstantního tlaku vzduchu. [8]

Nastavení tlaku redukčním ventilem pro vyvážení a pohyb výrobku (Přesná regulace vyvažovací síly)

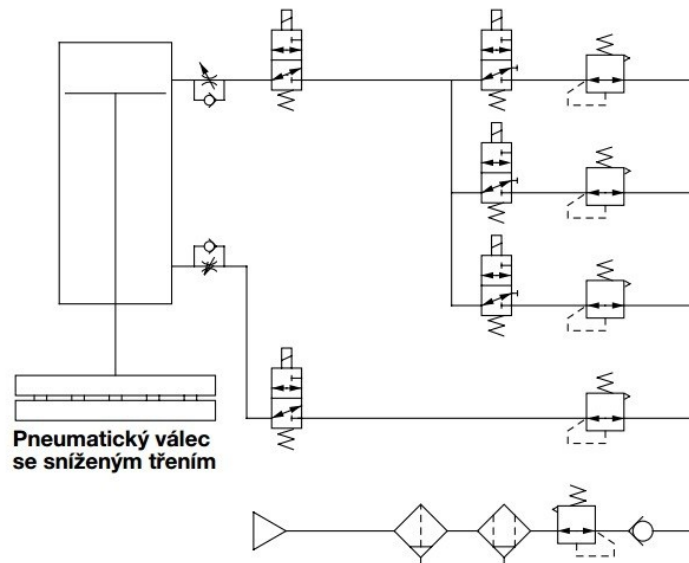
- regulátor omezuje kolísání tlaku v pneumatickém válci a zajišťuje vynikající statickou i dynamickou rovnováhu soustavy.



Obr. 27 – Příklad využití redukčního ventilu k přesné regulaci vyvažovací síly. [8]

Několikastupňová regulace síly stlačující výrobek (balicí stroj)

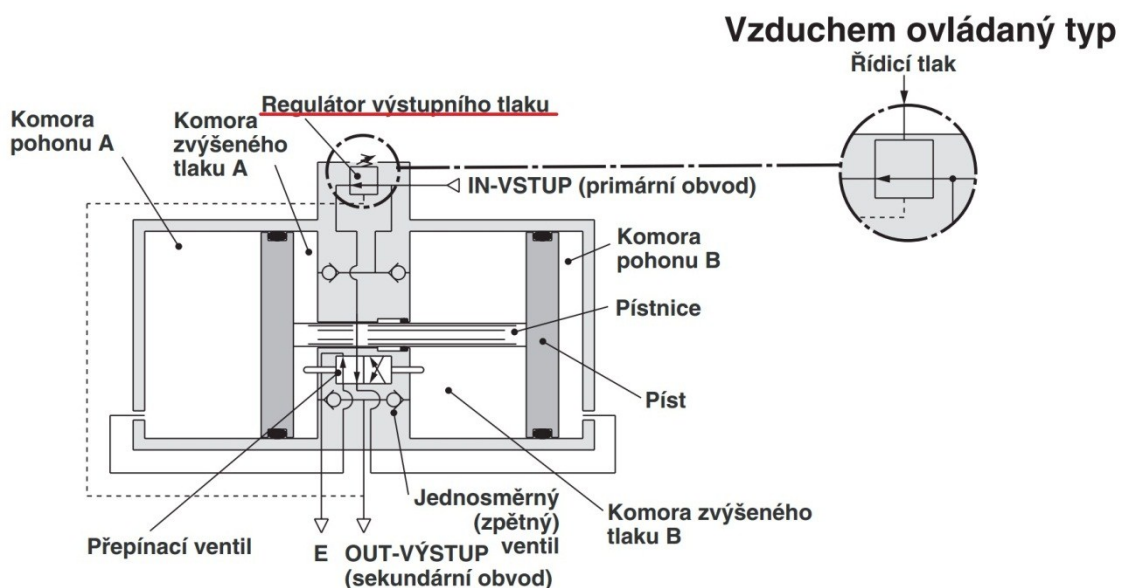
- každý redukční ventil je nastaven na jiný tlak vzduchu, čímž bude pneumatický válec vyvozovat jinou sílu, podle toho, který ventil bude otevřen.



Obr. 28 – Příklad zapojení redukčních ventilů pro několikastupňovou regulaci síly stlačující výrobek. [8]

Příklad využití redukčního ventilu v multiplikátoru

- multiplikátor dodává průběžně vzduch do výstupního kanálu (OUT) tak dlouho, až jeho tlak ve výstupním kanálu dosáhne požadované hodnoty, odpovídající poměru ploch pístu a mezikruží násobeného tlakem na vstupu (za redukčním ventilem) $p_2 = p_1 * (S_1/S_2)$.

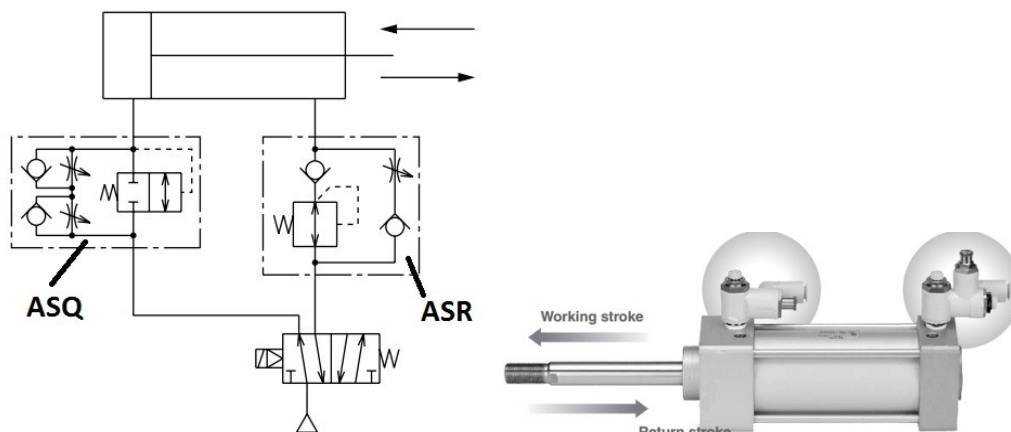


Obr. 29 – Příklad zapojení redukčního ventilu v multiplikátoru. [8]

Využití redukčního ventilu k úspoře vzduchu

- redukční ventil (např. ASR od firmy SMC) je v tomto případě zapojen na vstupu do prostoru pístnice a snižuje tak tlak vzduchu pro návrat pístu do základní polohy. To lze využívat tam, kde je třeba minimální síla pro návrat, např. pouze pro překonání vlastního tření v motoru. Stejně tak lze použít ventily popsané v kapitole 3.1, str. 14.

- ventil ASQ dodávaný v páru s ASR slouží k řízení rychlosti.

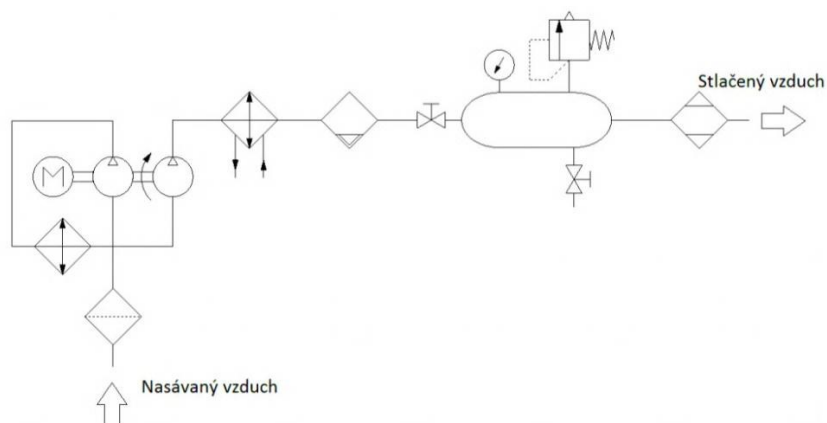


Obr. 30 – Příklad zapojení redukčního ventilu s jednosměrným ventilem bez pružiny k úspoře stlačeného vzduchu. [8]

4. 2 Zapojení pojistných ventilů

Výroba stlačeného vzduchu

- pojistný ventil umístěný na vzdušníku, zajišťuje při výrobě stlačeného vzduchu pojistnou funkci, proti případnému poškození akumulátoru následkem přetlaku. Další zapojení tohoto ventilu jsou obdobná, pokaždé ventil plní stejnou funkci.



Obr. 31 – Schéma výroby stlačeného vzduchu s příkladem zapojení pojistného ventilu. [9]

Popis funkce obvodu:

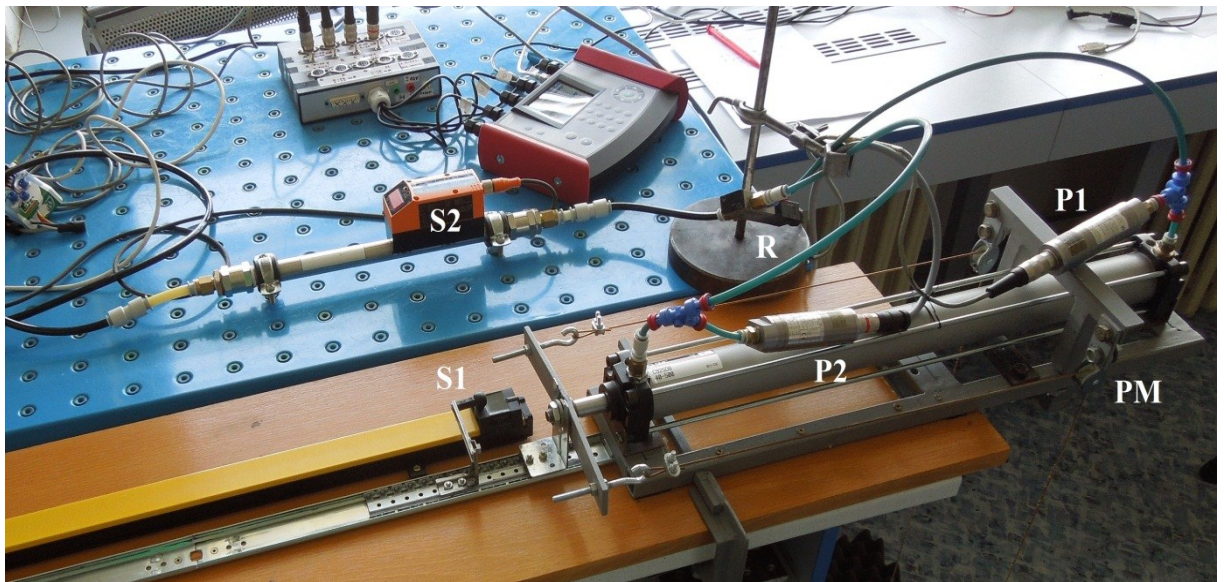
V obvodu je zapojený dvupolohový pěticestný šoupátkový rozváděč R, který je přestaven pákou do polohy 1. Vstup P je připojen na zdroj tlaku vzduchu a vstup R2 je odfuk do atmosféry, vstup A pouští vzduch v našem měření nastavený redukčním ventilem RV2 na 4 a 5 bar do prostoru válce a vysune jej. Vstup B pouští stlačený vzduch z prostoru pístnice přes redukční ventil s jednosměrným ventilem RV1 a do vstup R2. Vstup R1 je v poloze rozváděče 1 připojen k odfuku do atmosféry. Zdrojem tlaku vzduchu Z, je v našem případě kompresorová stanice. Jsou měřeny tlaky p_1 snímačem tlaku P1 na vstupu do přímočarého motoru PM, tlak p_2 snímačem tlaku P2 na výstupu PM. Ještě je měřen průtok Q a odebraný objem V pomocí průtokoměru S2 na vstupu do rozváděče R a měření zdvihu pístnice PM pomocí snímače polohy S1. Tlaky, průtok a zdvih je zaznamenáván do přístroje HMG3000 Hydac. Hodnoty jsou dále zpracovávány v počítači PC.

Specifikace prvků:

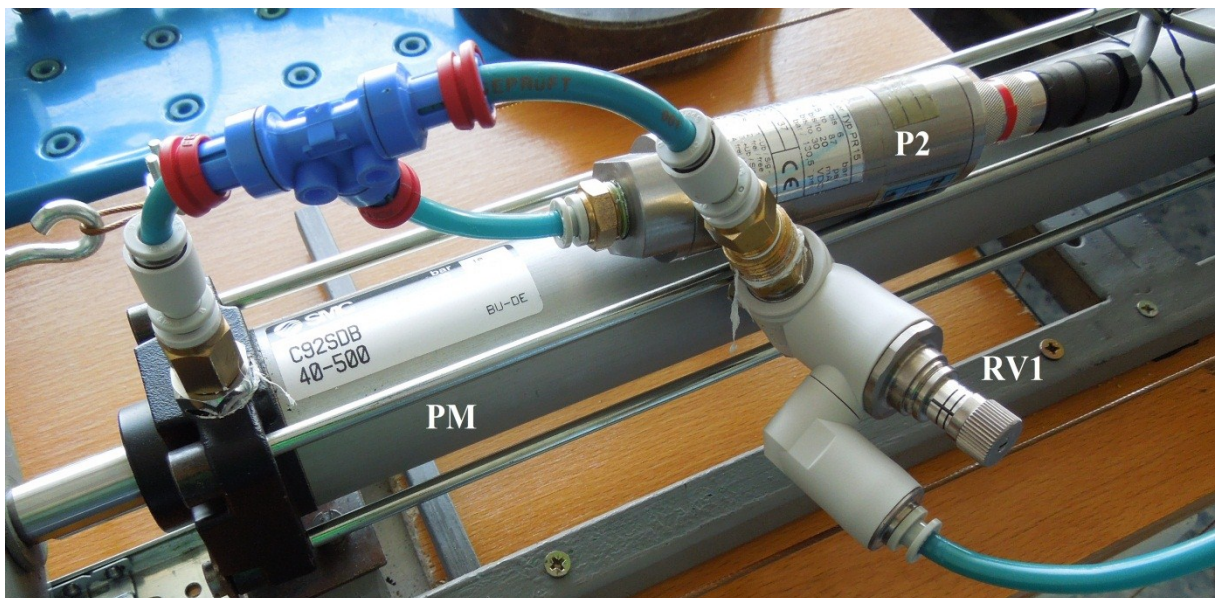
Specifikace prvků dle Obr. 32:

- Přímočarý motor PM: SMC C92SDB 40-500
- Rozváděč R: SMC EVZM550
- Redukční ventil RV1: SMC ASR430F-02
- Snímače P1 a P2: snímače tlaku PR15, rozsah (1÷6) bar, přesnost $\pm 0,5$ %, Hydrotechnik
- Snímač S1: snímač polohy (zdvihu) Turck Li800P0-Q25LMO-LiU5X3-H1151, maximální zdvih 800mm
- Snímač S2: Průtokoměr IFM Electronic SD6000, zobrazovaná oblast 0÷90 m³/h, měřicí rozsah 0,2÷75 m³/h
- Měřicí přístroj: Hydac HMG3000

Většina použitých prvků je použito od firmy SMC, která je známá výrobou součástí pro pneumatiku. Nejdůležitějším prvkem v tomto obvodu je přímočarý pneumatický motor, na kterém je měřena spotřeba vzduchu a tlaky. Přímočarý motor byl při měření zatížen závažím o hmotnosti 10 kg. Redukční ventil je použit typu ASR, popsáný v kapitole 4.1 str. 27. Tlakový vzduch je redukován na přívodu do rozváděče na požadovanou hodnotu tlaku pro měření.



Obr. 33 – Ukázka zapojeného obvodu pro měření.



Obr. 34 – Zapojení redukčního ventilu RV1, typ ASR.

Snímače byly následně použity čtyři. První je snímač vysunutí (zdvihu), který je od firmy Turck. Druhý snímač je průtokoměr SD6000 od firmy IFM Electronic, kterým jsme také zjišťovali množství odebraného vzduchu. Dále jsme použili dva snímače tlaku PR15 Hydrotechnik, které jsme zapojili na vstupu a výstupu vzduchu do prostoru pístu. Naměřené hodnoty jsme zaznamenávali do měřicího přístroje Hydac HMG3000 a následně do PC.

Metodika měření spotřeby vzduchu

Průtokoměr SD 6000 umožňuje zjištění odebraného množství vzduchu s rozlišením 100 normálních dm³. Měření proto probíhalo tak, že jsme zjišťovali kolik cyklů (vysunutí a zasunutí) motor při daném tlaku za uvedených 100 litrů vykoná. Pro zjištění množství vzduchu je potom ještě třeba od podílu odebraného množství a počtu cyklů odečíst objem přívodního vedení.

Následné měření dynamiky motoru probíhalo tak, že byl spuštěn záznam v HMG 3000, a po přestavení rozváděče byly zaznamenávány všechny uvedené veličiny, které byly následně porovnány.

5.2 Výpočet spotřeby vzduchu

Tabulka spotřeby vzduchu na jeden cyklus

Tlak [MPa]	Bez ventilu		S ventilem na 0,1 MPa		S ventilem na 0,2 MPa	
	Počet cyklů	Objem na 1 cyklus [dm ³ (ANR)]	Počet cyklů	Objem na 1 cyklus [dm ³ (ANR)]	Počet cyklů	Objem na 1 cyklus [dm ³ (ANR)]
0,4	17	6,05	25	4,11	21	4,9
0,5	15	6,86	21	4,9	19	5,41

Příklad výpočtu pro 0,4 MPa, objem na 1 cyklus, bez ventilu

Při 17 cyklech odebráno $V_O=100 \text{ dm}^3$

Objem hadice

$$V_H = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 0,004^2}{4} \cdot 0,5 = 0,0000062832 \text{ m}^3 = 0,0062832 \text{ dm}^3$$

Objem na jeden cyklus je dán vzorcem

$$V = \frac{100}{17} - 2 \cdot V_H = \frac{100}{17} - 2 \cdot 0,0062832 = 5,8698 \text{ dm}^3$$

Přepočet na normální objem

$$V_N = V \cdot \frac{p}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T} = 5,8698 \cdot \frac{101325}{10^5} \cdot \frac{293,15}{288,15} = 6,0508 \text{ dm}^3(\text{ANR})$$

Z výše uvedených objemů vychází tabulka úspory

Tlak [MPa]	Bez ventilu [dm ³ (ANR)]	S ventilem na 0,1 MPa [dm ³ (ANR)]	Úspora [%]	S ventilem na 0,2 MPa [dm ³ (ANR)]	Úspora [%]
0,4	6,05	4,11	32,1	4,9	19,01
0,5	6,86	4,9	28,6	5,41	21,14

Z výsledků je zřejmé, že při použití ASR ventilu je možno dosáhnout úspory až 30% vzduchu na jeden pracovní cyklus.

Porovnání výsledku měření s odlišnými výpočty

V této části bude porovnána spotřeba vzduchu zjištěná při experimentu se spotřebou vypočtenou jednoduchým výpočtem objemu válce a následným přepočtem na normální podmínky a také se spotřebou zjištěnou pomocí vztahu, který uvádí ve svých podkladech SMC.

Tabulka výpočtu pro tlak 0,4 MPa

	Bez ventilu		S ventilem na 0,1 MPa		S ventilem na 0,2 MPa	
	Spotřeba na cyklus [dm ³ (ANR)]	Odchylka proti měření [%]	Spotřeba na cyklus [dm ³ (ANR)]	Odchylka proti měření [%]	Spotřeba na cyklus [dm ³ (ANR)]	Odchylka proti měření [%]
Měření	6,05	-	4,11	-	4,90	-
Výpočet	5,78	-4,5	4,2	2,19	4,72	-3,67
Výpočet SMC	8,8	45,5	6,16	49,9	7,04	43,67

Příklad výpočtu

Výpočet objemu prostoru válce

$$V_V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} \cdot 0,5 = 0,000628 \text{ m}^3 = 0,628 \text{ dm}^3$$

Výpočet objemu prostoru pístnice

$$V_P = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot (0,04^2 - 0,016^2)}{4} \cdot 0,5 = 0,00052779 \text{ m}^3 = 0,52779 \text{ dm}^3$$

Výpočet spotřeby na cyklus bez ventilu

$$V_{výp.} = (V_V + V_P) \cdot \frac{p}{p_N} = (0,628 + 0,52779) \cdot \frac{5}{1} = 5,78 \text{ dm}^3(\text{ANR})$$

Výpočet spotřeby bez ventilu dle katalogu SMC [1]

- konstanta 1,4 ve vztahu vyjadřuje dle SMC „kompenzaci termodynamických ztrát“

- dále je nutno konstatovat, že ve vzorci je zanedbáno zmenšení objemu prostoru pístnice o objem pístnice, pro oba směry pohybu je tedy počítáno s objemem prostoru pístu. Konstanta n má v tomto případě hodnotu 2.

$$\begin{aligned} V_{SMCbez} &= \frac{1,4 \cdot D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot h \cdot (p + 0,1) \cdot n}{10^5} = \\ &= \frac{1,4 \cdot 40^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 500 \cdot (0,4 + 0,1) \cdot 2}{10^5} = 8,8 \text{ dm}^3(\text{ANR}) \end{aligned}$$

Výpočet spotřeby na cyklus s ventilem na 1 bar

$$V_{1výp.} = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h + \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot h \right) \cdot \frac{p_1}{p_N} + \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h + \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot h \right) \cdot \frac{p_2}{p_N}$$

Výpočet spotřeby s ventilem na 1 bar dle katalogu SMC

- opět je počítáno s objemem prostoru pístu i pro zpětný pohyb, v tomto případě ale při nižším tlaku. Konstanta n má v tomto případě hodnotu 1.

$$V_{SMC0,1} = \frac{1,4 \cdot D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot h \cdot (p_1 + 0,1) \cdot n}{10^5} + \frac{1,4 \cdot D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot h \cdot (p_2 + 0,1) \cdot n}{10^5}$$

Tabulka výpočtu pro tlak 0,5 MPa

	Bez ventilu		S ventilem na 0,1 MPa		S ventilem na 0,2 MPa	
	Spotřeba na cyklus [dm ³ (ANR)]	Odchylka proti měření [%]	Spotřeba na cyklus [dm ³ (ANR)]	Odchylka proti měření [%]	Spotřeba na cyklus [dm ³ (ANR)]	Odchylka proti měření [%]
Měření	6,86	-	4,90	-	5,41	-
Výpočet	6,93	1,02	4,82	-1,63	5,35	-1,11
Výpočet SMC	10,56	53,94	7,04	43,67	7,92	46,4

Postup výpočtu je stejný jako u tabulky pro tlak 0,4 MPa.

Z uvedeného vyplývá, že přesnější je prostý výpočet objemu prostoru pístu a pístnice a jeho přepočtení na normální podmínky. Odchylka od měření, které bylo vždy bráno jako 100%, je maximálně 5%. V případě výpočtu pomocí vzorce SMC je odchylka přibližně 40 až 50%. Z tohoto pohledu se jeví konstanta 1,4 zohledňující termodynamické změny jako značně nadsazená.

Porovnání úspory vzduchu při použití ASR ventilu – měření vůči úspoře zjištěné pomocí programu Simple Saving Calculation V1.0

	Tlak 0,4 MPa		Tlak 0,5 MPa	
	ASR na 0,1 [dm ³ (ANR)]	ASR na 0,2 [dm ³ (ANR)]	ASR na 0,1 [dm ³ (ANR)]	ASR na 0,2 [dm ³ (ANR)]
Měření	1,94	1,15	1,96	1,45
Výpočet dle programu	1,92	1,25	2,5	1,92

Zmíněný program umí vypočítat úsporu při použití ASR ventilu vyjádřenou v eurocentech za minutu. Úspora vzduchu uvedená v tabulce byla získána zpětným přepočtem, jehož příklad je uveden níže. Na základě porovnání lze konstatovat, že výsledky získané pomocí programu jsou daleko lepší, než pomocí výpočtu uvedeného u předchozího porovnání. Škoda je, že SMC neuvádí, podle jakých vztahů je úspora počítána.

Příklad výpočtu pro tlak 0,4 MPa, ASR na 0,1

- **měření** – rozdíl objemu pro cyklus a bez a s ventilem

$$V = V_{0,4bez} - V_{0,4s} = 6,05 - 4,11 = 1,94 \text{ dm}^3(\text{ANR})$$

- výpočet dle programu

Počet cyklů za minutu	1
Pracovní tlak (MPa)	0,4
Tlak na ASR (MPa)	0,1
Průměr válce (mm)	40
Zdvih (mm)	500
Výrobní cena vzduchu (€/Nm ³)	0,02

- úspora vzduchu za hodinu je 0,23 cent → úspora vzduchu na zdvih

$$V = \frac{0,23}{60 \cdot 100 \cdot 0,02} \cdot 1000 = 1,92 \text{ dm}^3 (\text{ANR})$$

- 60 převod na minuty (tedy na jeden zdvih), 100 převod na eura, 0,02 cena 1 metru krychlového vzduchu, 1000 převod na dm³.

Simple Saving Calculations V1.0 > ASR / ASQ Valve

Application (Actuator data)

- Number of cycles per minute:
- Working pressure (MPa):
- * Retracting pressure (MPa):
- Bore size (mm):
- Stroke (mm):
- Air cost at the Plant (€/Nm³):

Energy cost savings by ASR/ASQ valves per hour: **0,23** Cent [Calculate](#)

Operation time

Number of operating hours per day: Number of operating days per year:

Energy cost savings by ASR/ASQ valves per year: **-** Euro [Calculate](#)

Additional Information:

- To achieve the energy saving it is essential to install both valves: ASR ASQ
- * Retracting pressure between 0,1MPa to 0,3 MPa

Configure your product | Back to main menu | Contact SMC | Leave the application

ENERGY SAVING SOLUTIONS | SMC

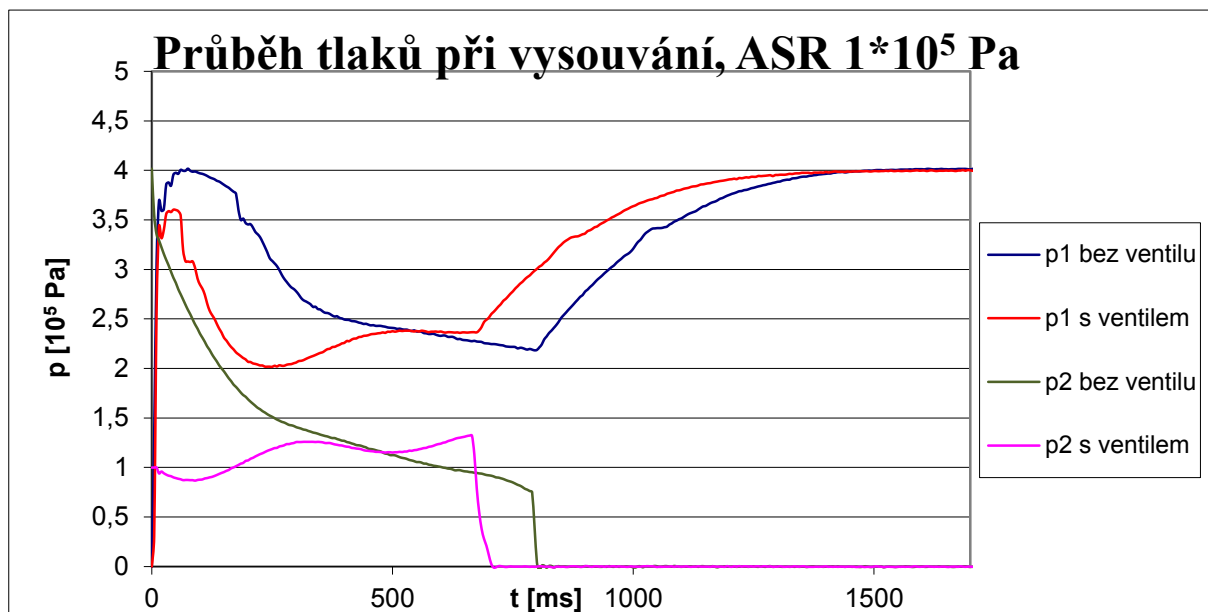
Obr. 35 – Ukázka prostředí programu na výpočet úspory vzduchu.

5.3 Charakteristiky motoru s využitím ventilu a bez ventilu

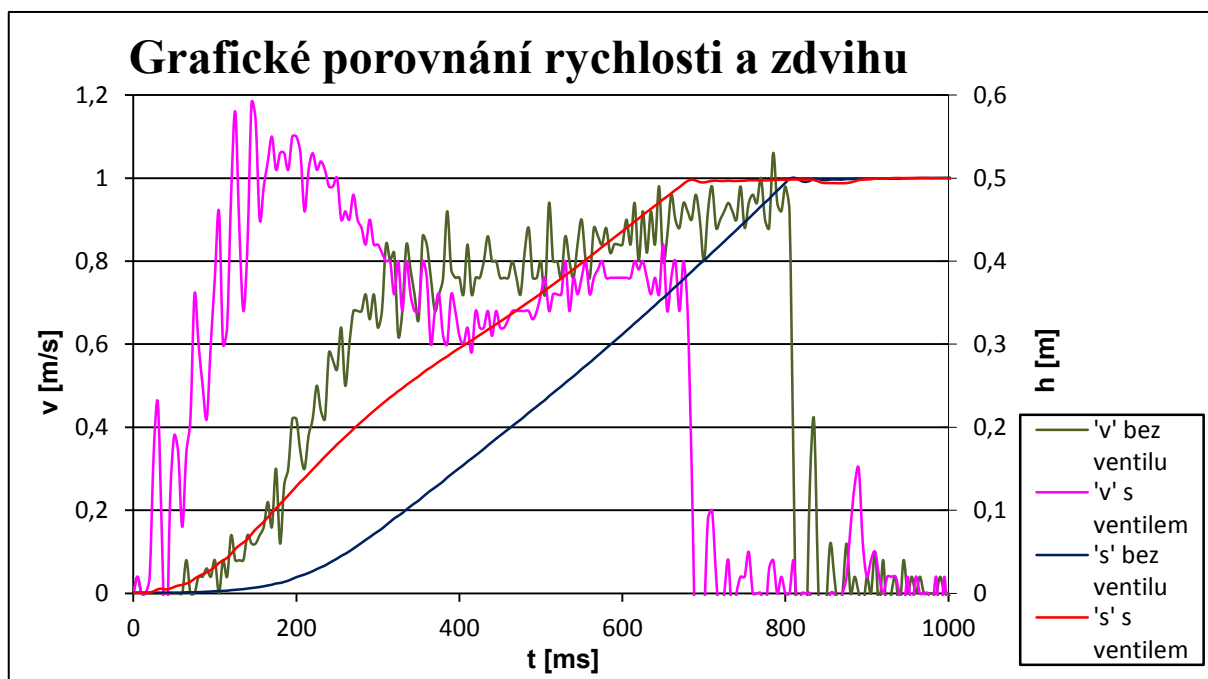
Použití ventilu může mít vliv na charakteristiky, takže bylo provedeno měření s úsporným ventilem a bez ventilu.

Charakteristiky při nastaveném redukčním ventilu na 0,1 MPa

a) Vysouvání s nastaveným tlakem na 0,4 MPa



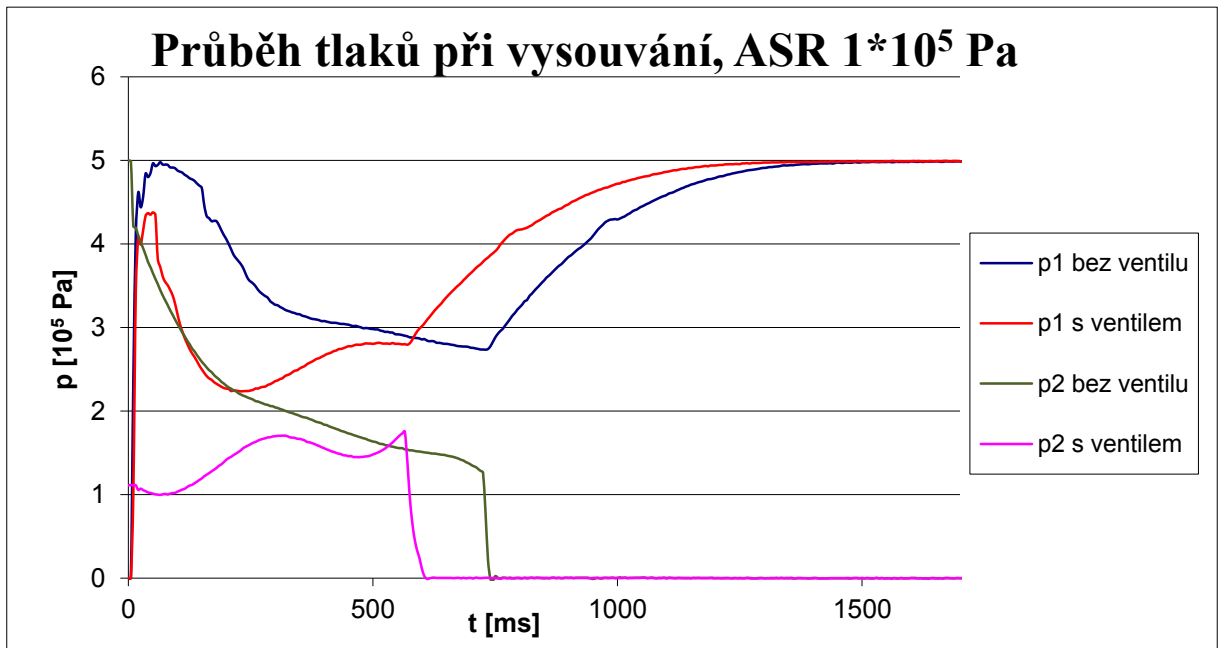
Obr. 36 – průběhy tlaku při pracovním tlaku 0,4MPa, ventil ASR nastaven na 0,1MPa.



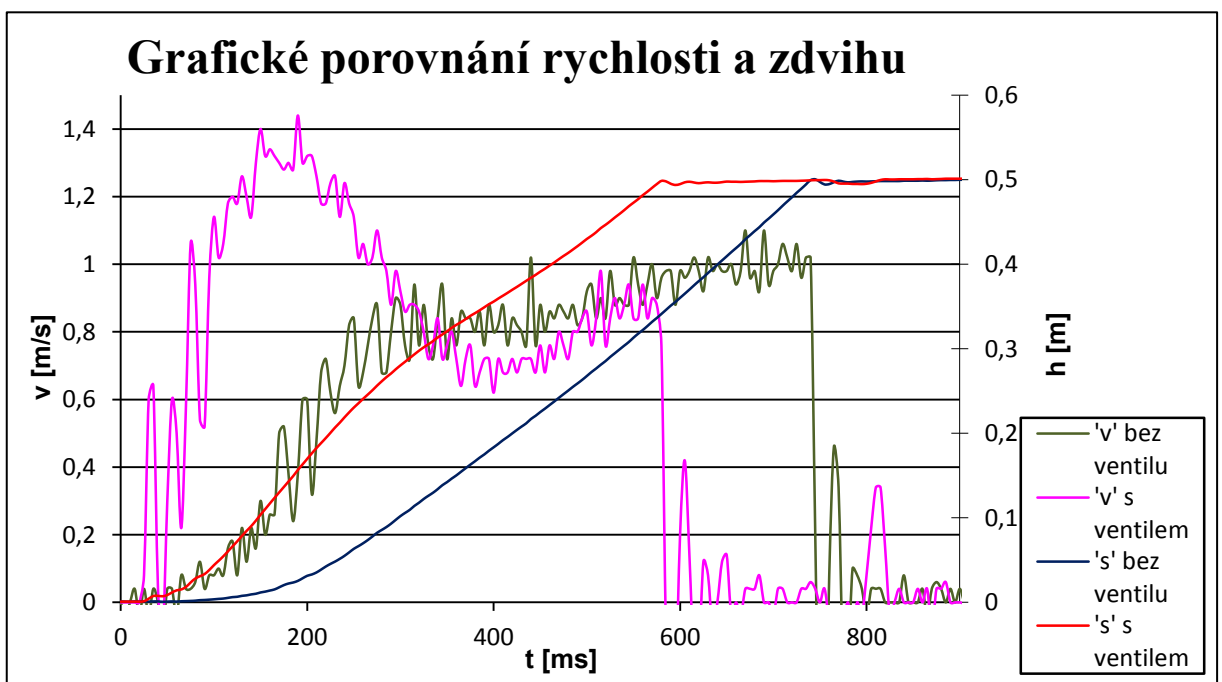
Obr. 37 – průběhy zdvihu a rychlosti při pracovním tlaku 0,4MPa, ventil ASR nastaven na 0,1MPa.

Z grafů vyplývá, že bez ventilu bylo dosaženo koncové polohy v čase 0,82s, s ventilem 0,69s. Zrychlení tedy činí 0,13s.

b) Vysouvání s nastaveným tlakem na 0,5 MPa



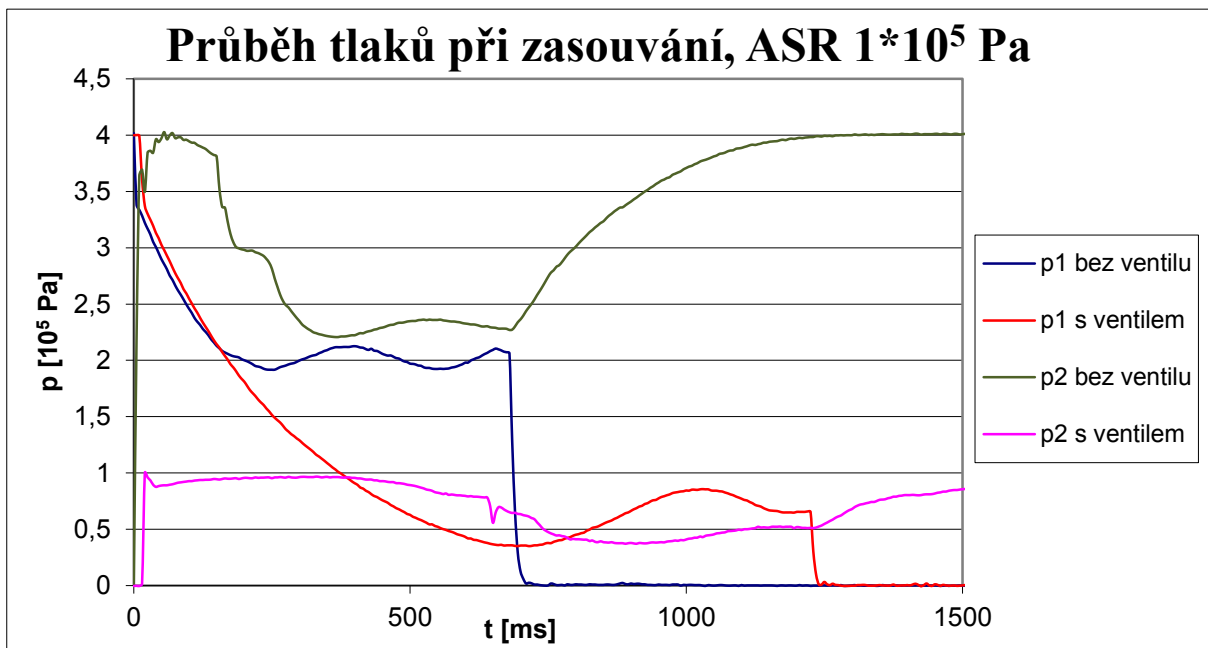
Obr. 38 - průběhy tlaku při pracovním tlaku 0,5MPa, ventil ASR nastaven na 0,1MPa.



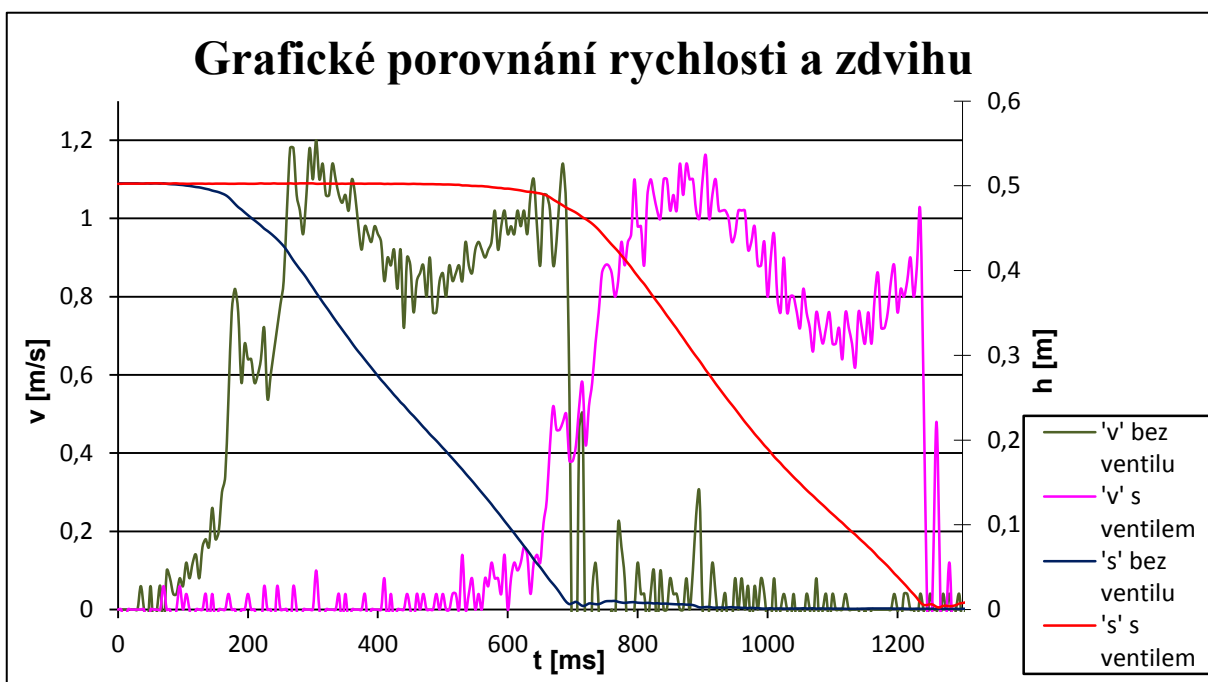
Obr. 39 – průběhy zdvihu a rychlosti při pracovním tlaku 0,5MPa, ventil ASR nastaven na 0,1MPa.

Z grafů vyplývá, že bez ventilu bylo dosaženo koncové polohy v čase 0,75s, s ventilem 0,59s. Zrychlení tedy činí 0,16s.

c) Zasouvání s nastaveným tlakem na 0,4 MPa



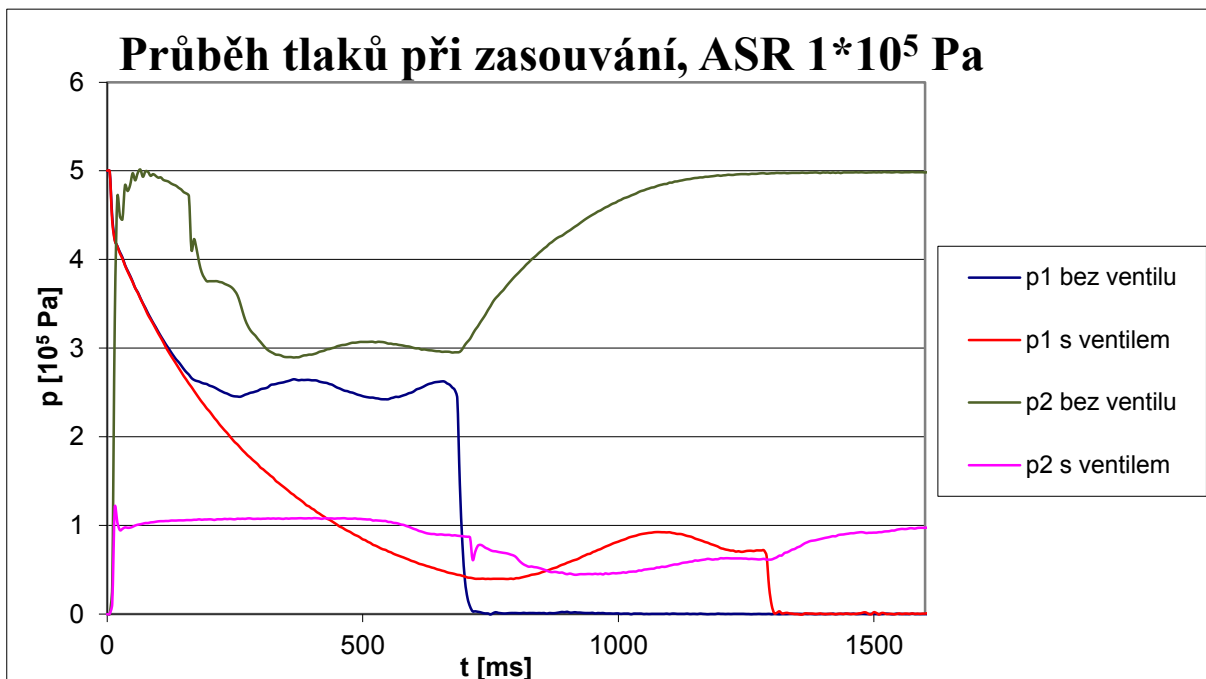
Obr. 40 – průběhy tlaku při pracovním tlaku 0,4MPa, ventil ASR nastaven na 0,1MPa.



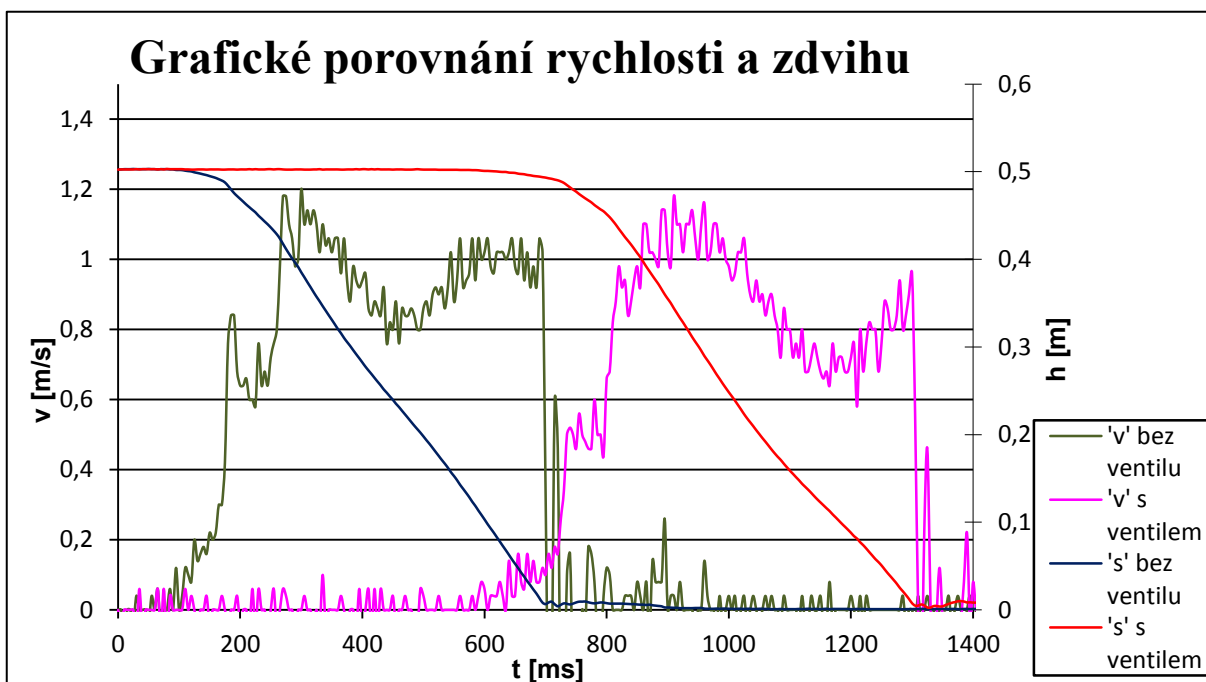
Obr. 41 – průběhy zdvihu a rychlosti při pracovním tlaku 0,4MPa, ventil ASR nastaven na 0,1MPa.

Z grafů vyplývá, že bez ventilu bylo dosaženo koncové základní v čase 0,7s, s ventilem 1,25 s. Zpoždění je tedy 0,55 s.

d) Zasouvání s nastaveným tlakem na 0,5 MPa



Obr. 42 – průběhy tlaku při pracovním tlaku 0,5MPa, ventil ASR nastaven na 0,1MPa.

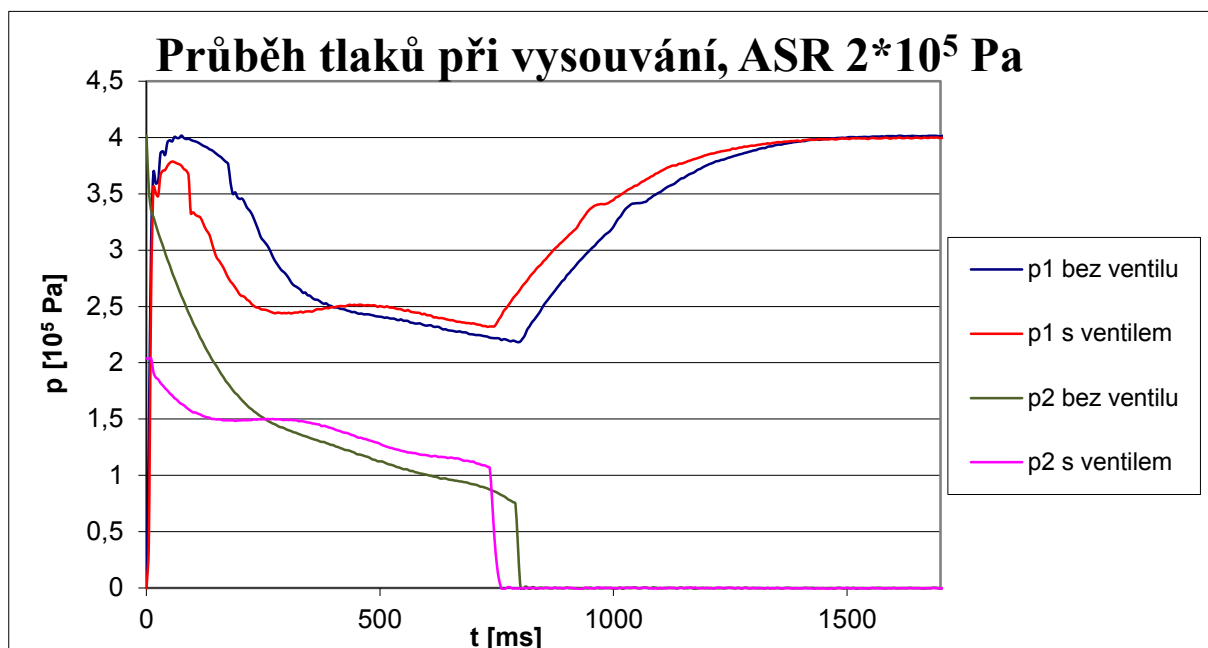


Obr. 43 – průběhy zdvihu a rychlosti při pracovním tlaku 0,5MPa, ventil ASR nastaven na 0,1MPa.

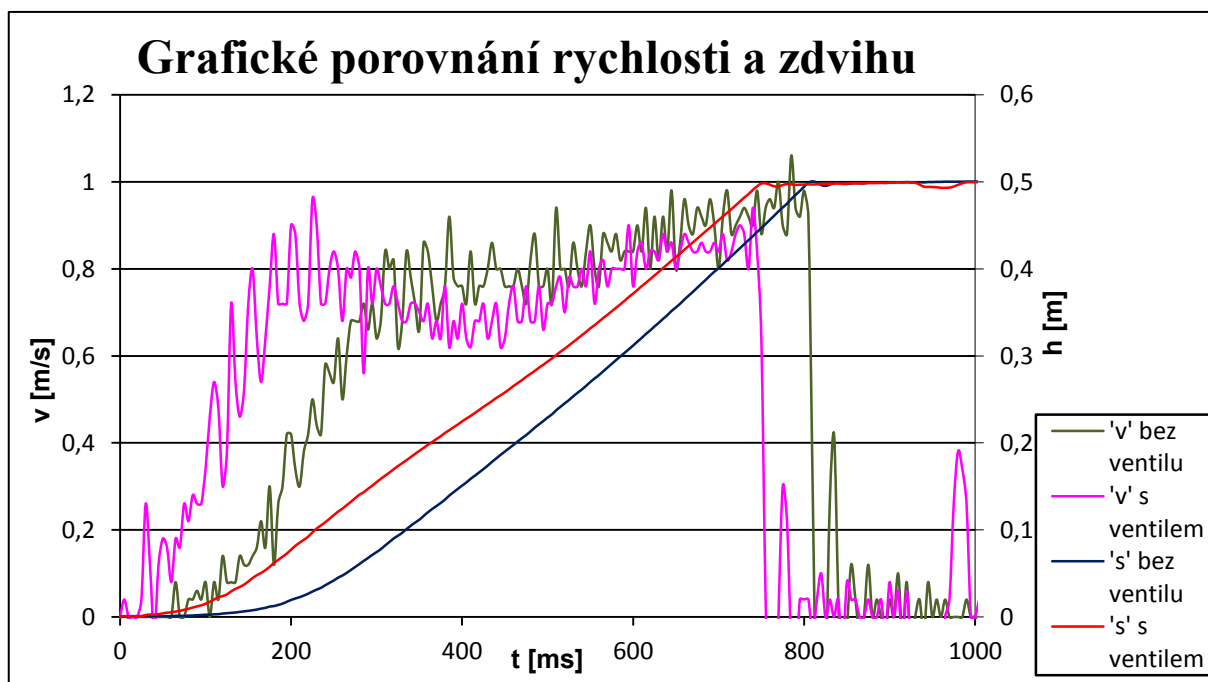
Z grafů vyplývá, že bez ventilu bylo dosaženo základní polohy v čase 0,71s, s ventilem 1,3 s. Zpoždění je tedy 0,6 s.

Charakteristiky při nastaveném redukčním ventilu na 0,2 MPa

a) Vysouvání s nastaveným tlakem na 0,4 MPa



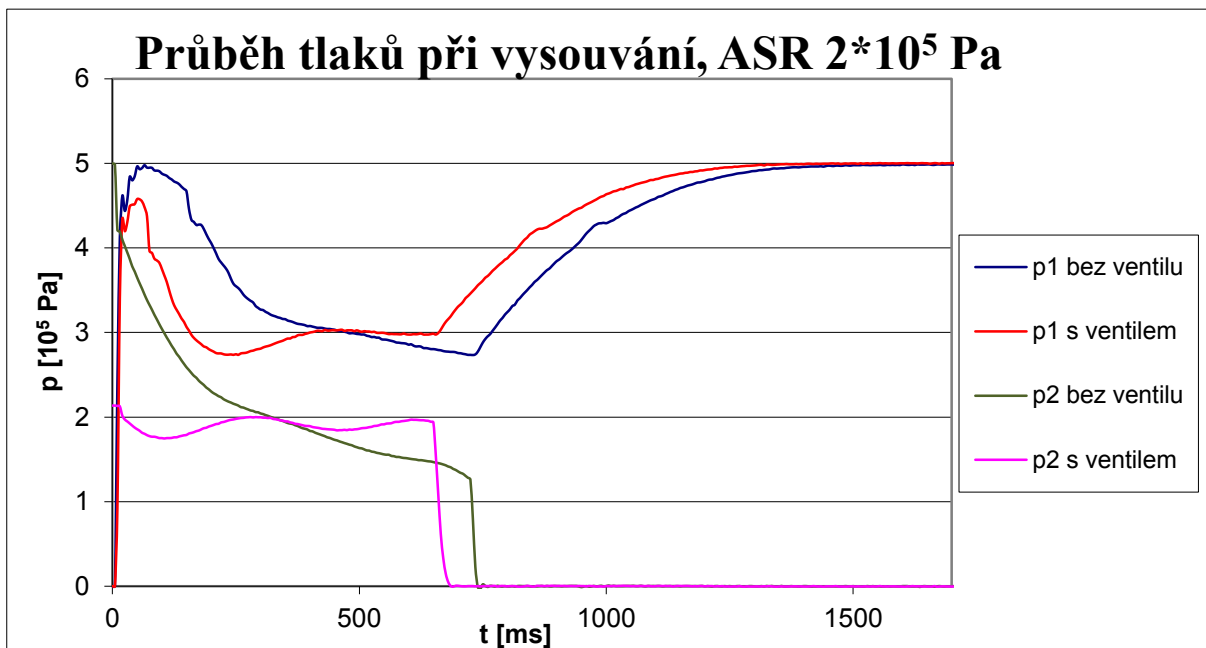
Obr. 44 – průběhy tlaku při pracovním tlaku 0,4MPa, ventil ASR nastaven na 0,2MPa.



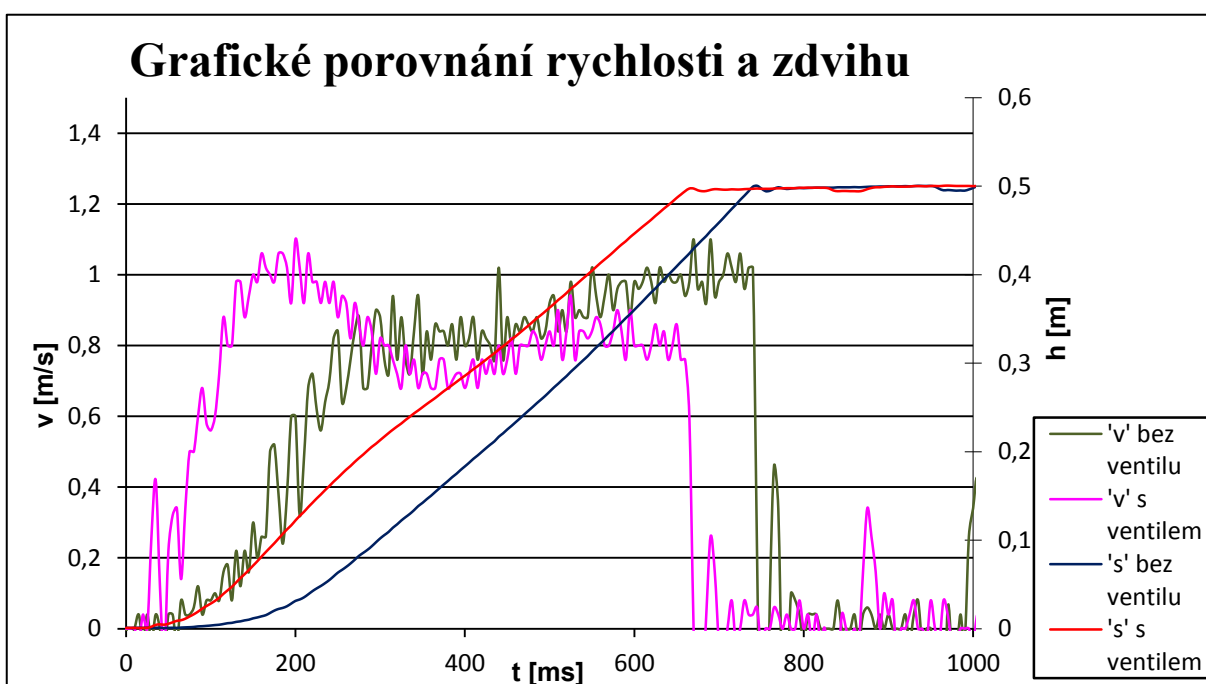
Obr. 45 – průběhy zdvihu a rychlosti při pracovním tlaku 0,4MPa, ventil ASR nastaven na 0,2MPa.

Z grafů vyplývá, že bez ventilu bylo dosaženo koncové polohy v čase 0,81s, s ventilem 0,76s. Zrychlení tedy činí 0,06s.

b) Vysouvání s nastaveným tlakem na 0,5 MPa



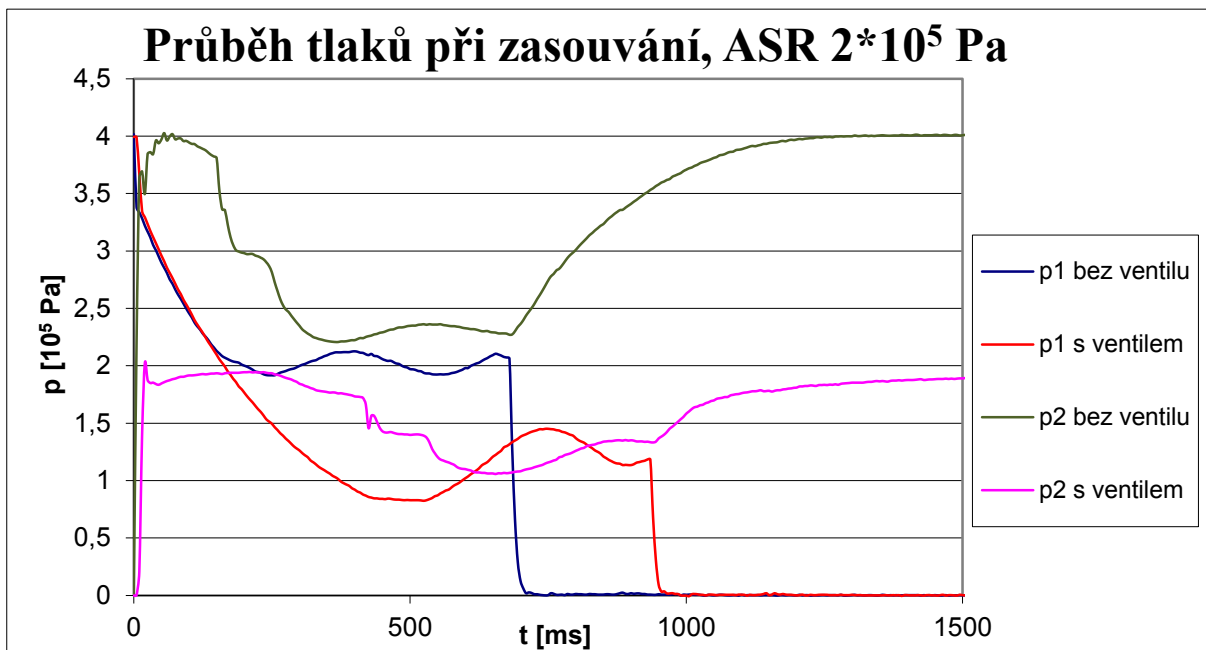
Obr. 46 – průběhy tlaku při pracovním tlaku 0,5MPa, ventil ASR nastaven na 0,2MPa.



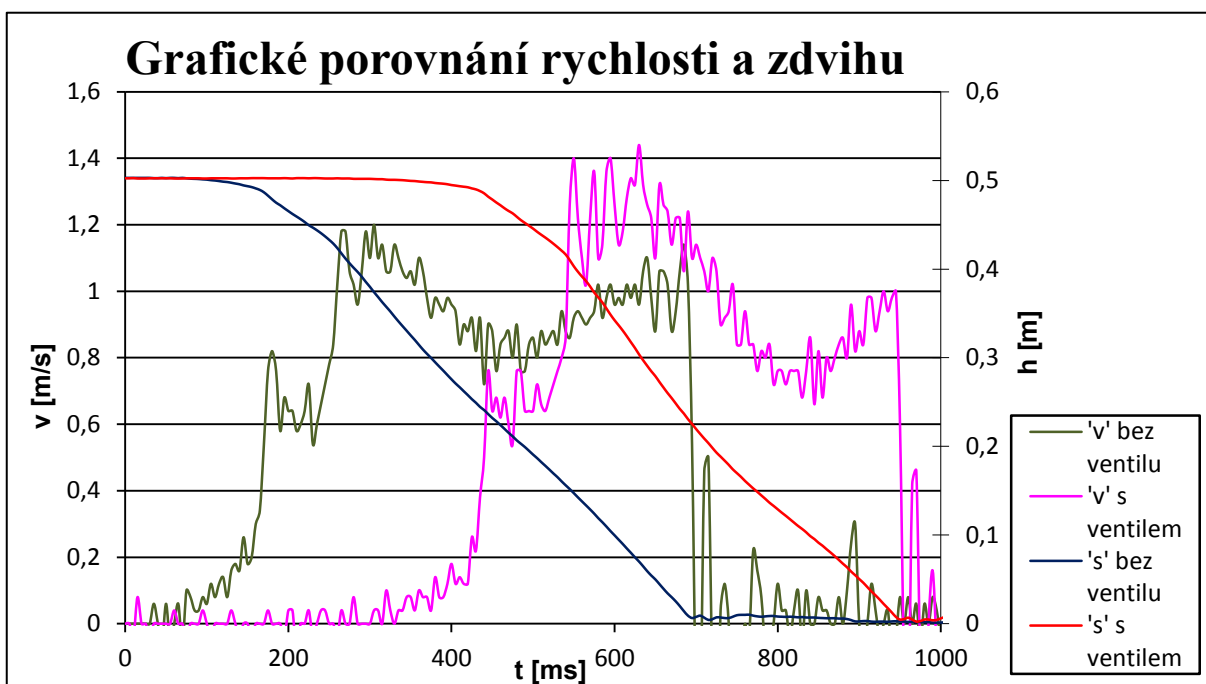
Obr. 47 – průběhy zdvihu a rychlosti při pracovním tlaku 0,5MPa, ventil ASR nastaven na 0,2MPa.

Z grafů vyplývá, že bez ventilu bylo dosaženo koncové polohy v čase 0,74s, s ventilem 0,67s. Zrychlení tedy činí 0,07s.

c) Zasouvání s nastaveným tlakem na 0,4 MPa



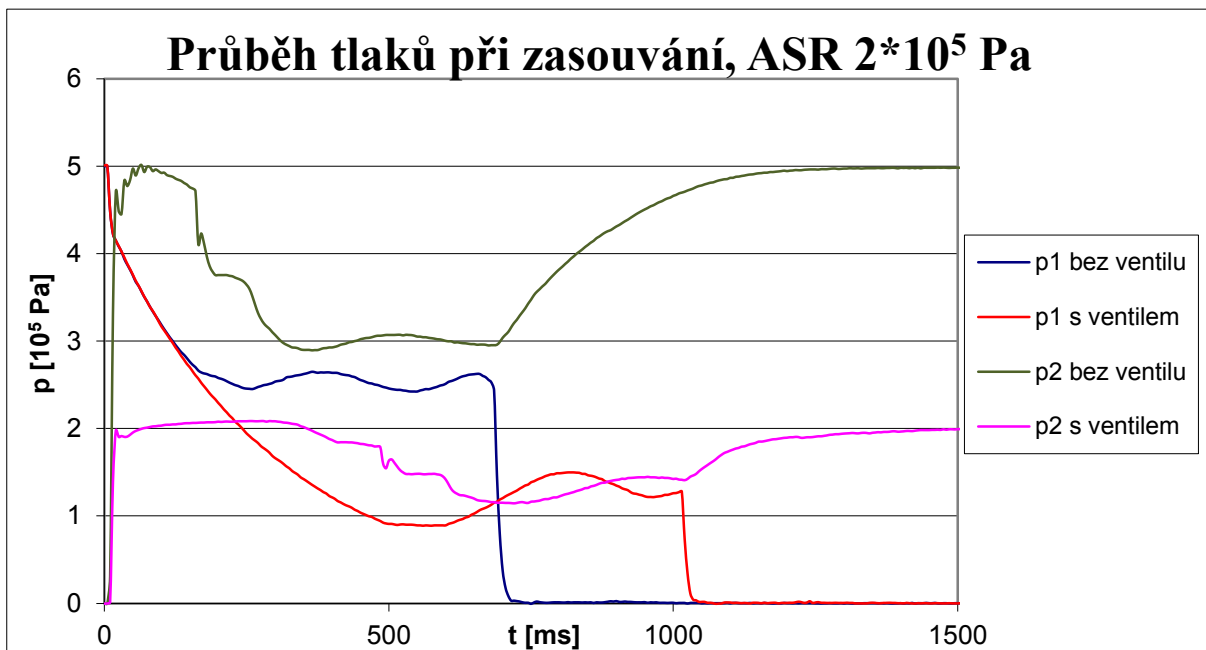
Obr. 48 – průběhy tlaku při pracovním tlaku 0,4MPa, ventil ASR nastaven na 0,2MPa.



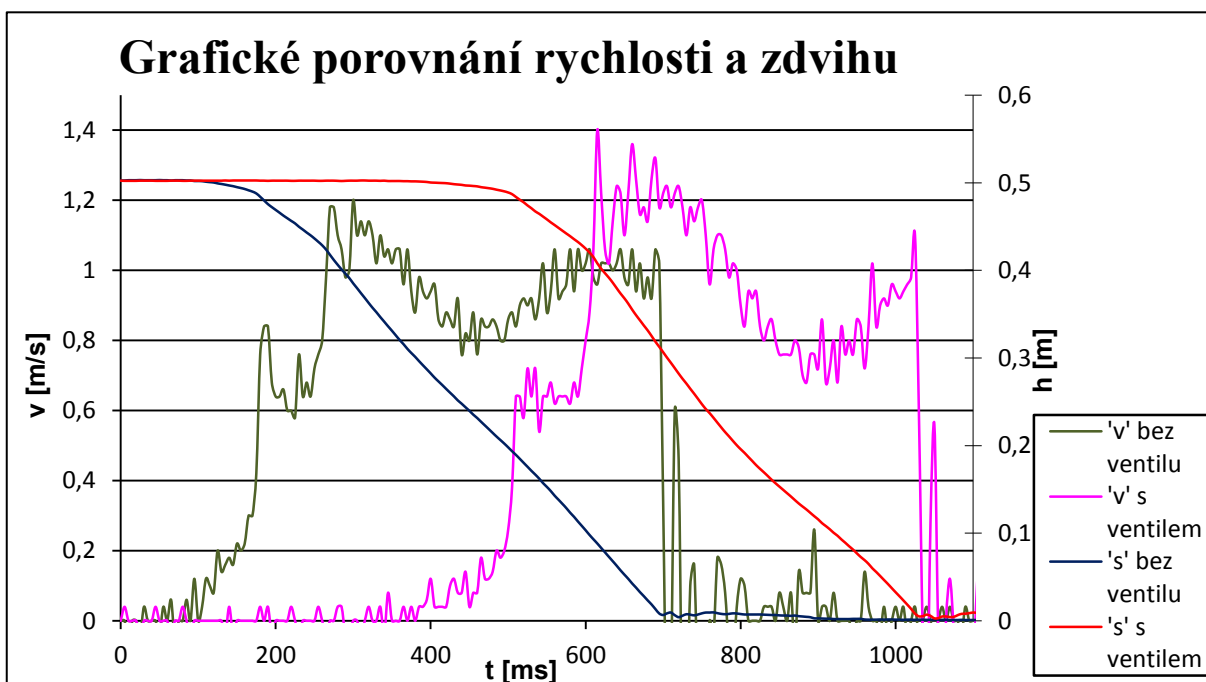
Obr. 49 – průběhy zdvihu a rychlosti při pracovním tlaku 0,4MPa, ventil ASR nastaven na 0,2MPa.

Z grafů vyplývá, že bez ventilu bylo dosaženo základní polohy v čase 0,7s, s ventilem 0,95 s. Zpoždění je tedy 0,25 s.

d) Zasouvání s nastaveným tlakem na 0,5 MPa



Obr. 50 – průběhy tlaku při pracovním tlaku 0,5MPa, ventil ASR nastaven na 0,2MPa.



Obr. 51 – průběhy zdvihu a rychlosti při pracovním tlaku 0,5MPa, ventil ASR nastaven na 0,2MPa.

Z grafů vyplývá, že bez ventilu bylo dosaženo základní polohy v čase 0,7s, s ventilem 1,03 s. Zpoždění je tedy 0,33 s.

6. Závěr

V úvodní části práce bylo uvedeno rozdělení tlakových ventilů, příklady jejich konstrukcí a příklady zapojení do obvodu a tedy jejich funkcí. Následuje praktická část, která je zaměřena na využití redukčních ventilů jako prvků pro úsporu vzduchu.

Bylo provedeno měření za účelem zjištění úspory vzduchu při použití redukčního ventilu typu ASR. Výsledkem je tabulka úspory vzduchu, kde jsou zaznamenány spotřebované objemy za daných podmínek. Z výsledků v tabulce je zřejmé, že s použitím redukčních ventilů typu ASR lze dosáhnout úspory až 30% vzduchu na jeden pracovní cyklus. V tabulce jde také vidět, že pokud jsme na ventilu nastavovali větší tlak blížíci se pracovnímu, úspora klesala, ale i tak byla úspora okolo 20%.

Změřené výsledky jsme porovnali pomocí různých početních metod, kterými se dá zjistit spotřeba vzduchu na jeden pracovní cyklus. Při výpočtu z objemu válce a následném přepočtu na normální podmínky vycházela odchylka oproti měření maximálně 5%. Výpočet dle SMC vycházel s velkou odchylkou okolo 40 až 50%, což zapříčinila konstanta 1,4 zohledňující termodynamické změny, která se tedy při porovnání výsledků s měřením jeví značně nadsazená.

Nejlépe z početního řešení i co se týče jednoduchosti, vycházel výpočet pomocí programu Simple Saving Calculation V1.0 na úsporu vzduchu od SMC, kde se výsledek vyjádřený v eurocentech za minutu musí přepočítat na ušetřený objem vzduchu.

Dále bylo zařazeno grafické porovnání průběhů tlaku, zdvihu a rychlosti při použití redukčního ventilu a bez něj. Z porovnání je zřejmé, že zařazení redukčního ventilu pro snížení tlaku při zasouvání pístnice může výrazně ovlivnit dynamiku pohybu pístu v obou směrech. Pokud porovnáme celkovou dobu zdvihu od přestavení rozváděče, pak ve sledovaných případech byl čas pro vysunutí s redukčním ventilem až o 0,16 s menší. To je samozřejmě způsobeno menší protitlakem. Naopak při zasouvání docházelo u průběhů s ventilem ke zpoždění až 0,6 s. Se zvyšujícím se tlakem pro zasouvání se rozdíly zmenšují.

S použitím redukčních ventilů za účelem úspory vzduchu dochází k viditelné změně spotřebovaného vzduchu na cyklus, což se projeví v ušetřených penězích ve velkých firmách, kde stroje pracují denně.

7. Seznam použité literatury

- [1] KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.
- [2] Úvod do pneumatiky: učebnice FESTO Didactic: určeno pro stud. postgrad. studia fak. strojní. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1989. 197 s. ISBN 80-01-00042-7.
- [3] *Úvod do pneumatiky: Ventily* [online]. 2011-02-18, 2011-02-18 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: http://ownfate.hustej.net/Uvod_do_pneumatiky_Ventily.pdf
- [4] Rexroth Bosch Group: Pneumatics. *Rexroth Bosch* [online]. 2013-10-24 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.rexrothpneumatics.com/en/products.html>
- [5] Festo: Katalog. *Festo* [online]. 2013 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: http://www.festo.com/cat/cs_cz/products
- [6] Jan Vojna – průmyslové armatury s.r.o. *Jan Vojna – průmyslové armatury s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: <http://www.armatury-vojna.cz/>
- [7] STASTO Automation s.r.o.: Pneumatické prvky. *STASTO Automation s.r.o.* [online]. 2002 [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: <http://stasto.cz/>
- [8] *SMC Industrial Automation CZ s.r.o.* [online]. 1994 [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: <https://catalog.smc-cee.com/default.aspx>
- [9] PLACATA, Ing. Jiří. Čtení pneumatických schémat. *Čtení pneumatických schémat* [online]. 2013-06-05, VY_32_INOVACE_04219ml.pdf [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: http://www.spskladno.cz/stahuj_dumy.php?id=2060

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě vyjádřil poděkování svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Lukáši Dvořákovi, Ph.D. za jeho cenné rady, pomoc, trpělivost a ochotu při vypracování mé práce.

V Ostravě, dne 19. května 2014

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Kd', is written above a horizontal dotted line.