



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

# ADAPTÉR PRO TLAKOVÁNÍ SPORTOVNÍCH TLUMIČŮ ODPRUŽENÍ

ADAPTER FOR PRESSING OF SPORT SHOCKABSORBER

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Drozd

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.

BRNO 2020



# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	<b>David Drozd</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.</b>
Akademický rok:	2019/20

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 bakalářské práce:

## **Adaptér pro tlakování sportovních tlumičů odpružení**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Závěsy kol moderních sportovních automobilů jsou většinou vybaveny jednoplášťovými tlumiči odpružení. Pro zamezení kavitace pracují tyto tlumiče pod neustálým vnitřním přetlakem. Přesné nastavení potřebného tlaku plynného média musí být zajištěno jak při výrobě tlumiče, tak při jeho provozní údržbě.

Typ práce: vývojová – konstrukční

### **Cíle bakalářské práce:**

Hlavním cílem je vyvinout adaptér pro plnění jednoplášťového hydraulického tlumiče plynným médiem do provozního tlaku 30 barů.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- vypracovat rešerši komerčních systémů s podobným účelem,
- navrhnout adaptér pro plnění pomocí láhve se stlačeným plynem,
- navrhnout adaptér pro plnění ruční hustilkou,
- adaptér musí pracovat s ventilkem i zátkou,
- adaptér musí umožnit přesné měření plnicího tlaku.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

**Seznam doporučené literatury:**

DIXON, John C, 2007. The Shock Absorber Handbook. 2. Chichester: John Wiley. ISBN 0-7680-00-0-5.

KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD, 2006. Technická diagnostika. Praha: BEN. ISBN 80-7300-158-6.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed., 2010. Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTIUM. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-8-214-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Táto bakalárska práca je zameraná na konštrukciu adaptéra na plnenie jednoplášťových tlmičov plynným médiom. Prvá časť sa zaoberá podstatou a metódami tlakovania tlmičov, ako aj prehľadom rôznych typov vyrábaných adaptérov. Druhá časť je zameraná na vytvorenie koncepčného návrhu na základe zistení z prvej časti. Posledná časť detailne popisuje výsledný konštrukčný návrh a sú v nej prevedené kontrolné výpočty. Výstupy práce zahŕňajú kompletnú výkresovú dokumentáciu vlastného návrhu plniaceho adaptéra a výskumnú správu komplexne popisujúcu plnenie tlmičov plynom.

## KLÚČOVÉ SLOVÁ

tlmič, expanzná komora, plniaci adaptér, kavitácia

## ABSTRACT

This bachelor thesis is aimed at developing an adapter intended for filling mono-tube shock absorbers with gas. The first part deals with fundamentals and methods of gas charging of shock absorbers. The second part is aimed at designing the adapter based on findings from the first part. The third part includes detailed description of the final design and control calculations. Thesis outcomes include complete technical documentation of filling adapter of custom design and a comprehensive research report concerning gas charging of shock absorbers.

## KEYWORDS

shock absorber, expansion chamber, filling adapter, cavitation



## BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

DROZD, David. *Adaptér pro tlakování sportovních tlumičů odpružení*. Brno, 2020. Dostupné taktiež z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121482>. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedúci práce Ivan Mazůrek.





## POĎAKOVANIE

Na tomto mieste by som chcel poďakovať vedúcemu práce doc. Ing. Ivanovi Mazúrekovi, CSc. za jeho odborné vedenie, vecné pripomienky a v neposlednom rade trpezlivosť. Poďakovanie patrí taktiež mojej rodine a priateľke za podporu nie len v priebehu písania práce, ale aj počas celého štúdia.

## PREHLÁSENIE AUTORA O PÔVODNOSTI PRÁCE

Čestne prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracoval samostatne, pod odborným vedením doc. Ing. Ivana Mazúreka, CSc. Súčasne prehlasujem, že všetky zdroje obrazových a textových informácií, z ktorých som čerpal, sú riadne citované v zozname použitých zdrojov.

.....

Podpis autora



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA</b>	<b>14</b>
2.1	Princíp fungovania a konštrukcia tlmičov	14
2.2	Kavitácia a prevzdušňovanie	16
2.3	Plniace plyny	18
2.4	Plnenie tlmičov	21
2.4.1	Plnenie tlmičov bez ventilu	21
2.4.2	Plnenie tlmičov s ventilom	22
2.4.3	Komerčne dostupné adaptéry	23
<b>3</b>	<b>ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE</b>	<b>28</b>
3.1	Analýza problému	28
3.2	Zhodnotenie rešerše	28
3.3	Cieľ práce	29
<b>4</b>	<b>KONCEPČNÉ RIEŠENIE</b>	<b>30</b>
4.1	Meranie tlakovej straty pri plnení	30
4.1.1	Ciele merania	30
4.1.2	Meracia sústava	30
4.1.3	Postup	31
4.1.4	Pozorovania z priebehu experimentu	31
4.1.5	Výsledky a záver	32
4.2	Vlastný návrh	34
4.2.1	Bezstratová spojka	34
4.2.2	Redukcia na ihlu	36
4.2.3	Medzičlen	37
4.2.4	Prípojka	38
<b>5</b>	<b>KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE</b>	<b>39</b>
5.1	Bezstratová spojka	40
5.1.1	Kontrola extrúzie o-krúžku	41
5.2	Redukcia na ihlu	42
5.3	Hadica	42

5.4	Medzičlen	43
5.5	Prípojka	44
5.5.1	Otvárací tlak spätného ventilu	44
5.6	Pevnostná analýza a kontrola bezpečnosti	45
<b>6</b>	<b>DISKUSIA</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVER</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV</b>	<b>48</b>
<b>9</b>	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN</b>	<b>51</b>
<b>10</b>	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV</b>	<b>52</b>
<b>11</b>	<b>ZOZNAM TABULIEK</b>	<b>54</b>
<b>12</b>	<b>ZOZNAM PRÍLOH</b>	<b>55</b>

# 1 ÚVOD

Hydraulický tlmič vo vozidle tlmí kmity odpruženej a neodpruženej hmoty disipovaním energie ich pohybu, využívajúc vnútorné trenie prúdiacej kvapalinovej náplne. Okrem kvapaliny sa v tlmiči nachádza stlačený plyn, ktorý v závislosti od konštrukčného usporiadania môže, ale nemusí byť od kvapaliny fyzicky oddelený. Plynová náplň priamo neprispieva k celkovej tlmiacej sile, je však nevyhnutná pre hladký chod a spoľahlivú prevádzku tlmiča. Primárnou funkciou plynovej náplne je kompenzovať zmenu vnútorného objemu pri vnáraní piestnice do nestlačiteľnej kvapalnej náplne. Sekundárna funkcia spočíva v zabezpečení pretlaku potrebného na správne fungovanie ventilov a efektívne potlačenie kavitácie.

Pre aplikácie v motoršporte sa kvôli mimoriadnej záťaži používajú tlmiče pracujúce s pretlakom na úrovni 2-3 MPa, umožňujúce v závislosti na podmienkach prispôbiť kľúčových parametrov vrátane tlaku, pričom na presnú úroveň natlakovania je kladený značný dôraz. Pre tento účel sa používajú špeciálne plniace adaptéry. Tlmiče od rôznych výrobcov disponujú rôznymi druhmi prívodu vzduchu, taktiež na samotné plnenie je možné použiť viaceré plyny a rôzne tlakovacie zariadenia. Táto bakalárska práca zhŕňa poznatky o spôsoboch plnenia tlmičov, používaných plynoch a vyrábaných adaptéroch. Následne obsahuje vypracovanie vlastného návrhu adaptéra, pokrývajúceho čo najväčšie množstvo kombinácií prívodu plynu s tlakovacím zariadením.



Obr. 1-1 Tlakovanie expanznej komory tlmiča pomocou ihly [1]

## 2 PREHLAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

### 2.1 Princíp fungovania a konštrukcia tlmičov

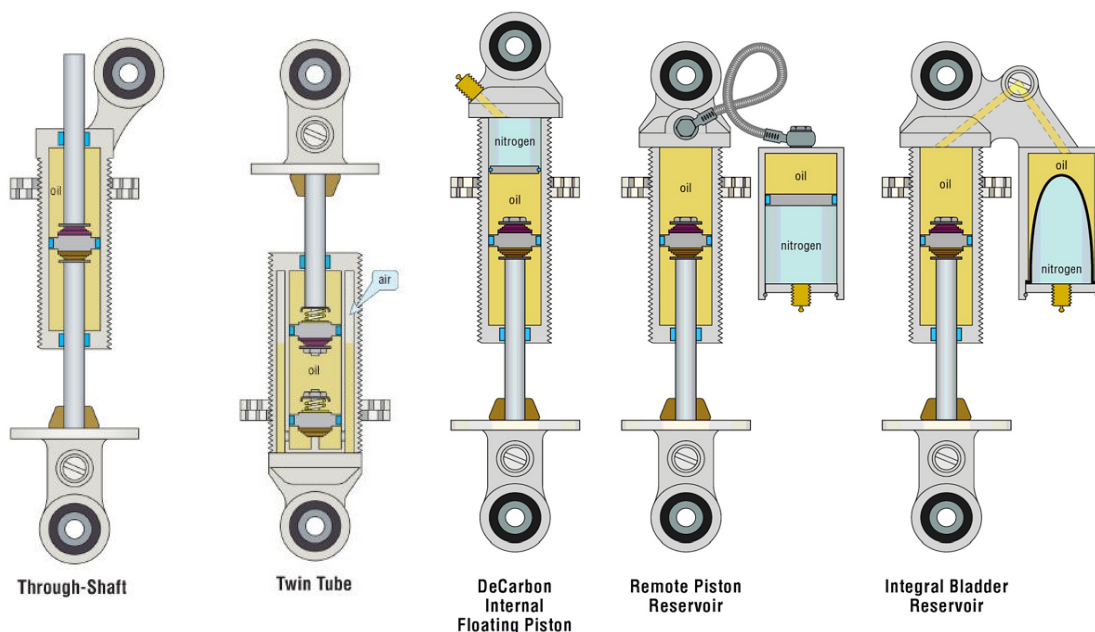
Podvozok vozidla predstavuje mechanický oscilátor tvorený pružinou a závažím, majúci tendenciu kmitať s ustálenou amplitúdou [18]. Účelom tlmiča je disipovať kinetickú energiu kmitavého pohybu odpruženej a neodpruženej hmoty, vznikajúceho v dôsledku dynamického zaťažovania [21], a tým zabrániť nadmernému rozkývaniu karosérie a odsakovaniu kolesa od vozovky [16].

Moderné tlmiče fungujú na princípe pretláčania kvapaliny z jedného vnútorného priestoru do druhého cez malé otvory [16]. Tlmiaca sila je následkom vnútorného trenia v kvapaline [9] a (v menšej miere) mechanického trenia medzi súčiastkami [18]. Tlmič kontroluje pohyb podvozku v oboch smeroch, pričom pri kompresii kladie nižší odpor než pri roztáhovaní. Tým sa zabezpečí, aby tlmič nekompromitoval funkciu pružiny ovplyvňovaním jej tuhosti a neprenášal rázy od kolies do karosérie [16].

Všetky teleskopické tlmiče vychádzajú z jedného z dvoch základných usporiadaní – jedno- alebo dvojplášťové. Telo je tvorené jedným alebo dvoma valcovými plášťami naplnenými minerálnym olejom a stlačeným vzduchom. Vnútri pracovného plášťa (pri dvojplášťových tlmičoch sa jedná o vnútorný plášť) sa v oleji pohybuje pracovný piest, v ktorom sa nachádzajú otvory so samočinnými ventilmi priepustnými v jednom smere. Rôzna účinnosť tlmenia v jednotlivých smeroch sa dosahuje nerovnakým počtom a/alebo rozdielnymi charakteristikami ventilov. Keďže automobilové a motocyklové tlmiče štandardne nedisponujú priechodnou piestnicou, pri pohybe piestu nadol sa objem pracovného priestoru znižuje o objem vnoreného úseku piestnice. Zmena objemu je kompenzovaná stlačením plynu vo vyrovnávacom priestore [16]. Plyn vo vyrovnávacom priestore zároveň funguje ako pneumatická pružina, vďaka čomu sa tlmič podieľa na prenose hmotnosti [18].

V jednoplášťových tlmičoch je plyn od oleja oddelený separátorom (plávajúcim piestom alebo gumovou membránou). V dvojplášťových tlmičoch slúži na vyrovnávanie zmeny objemu priestor medzi plášťami, pričom plyn a olej sú vo väčšine prípadov navzájom separované gravitáciou vďaka rozdielnym hustotám. Tlmiče tejto konfigurácie zriedkakedy používajú fyzický separátor, napr. vo forme gumovej manžety [9].

Vyrovňavací priestor moderných tlmičov je natlakovaný na tlak niekoľkonásobne vyšší než atmosférický. Plyn pôsobí tlakovou silou na hladinu oleja, čím sa zaistí, aby tlmič pracoval pod neustálym pretlakom. Tlmiče disponujúce vyrovnávacím priestorom spojeným s atmosférou sú dnes považované za technicky zastarané [18]. Dvojplášťové tlmiče určené na prevádzku v bežných osobných automobiloch bývajú v závislosti od konkrétneho použitia natlakované na 0,2-0,8 MPa. Pre aplikácie, pri ktorých sa predpokladá vysoká záťaž a teplota, sa prednostne používajú jedноплаšťové tlmiče pracujúce s pretlakom 2-3 MPa [16].



Obr. 2-1 Rôzne konštrukčné usporiadania automobilových/motocyklových tlmičov [11]

Pretlak má v tlmiči dvojitý účel – potláčať kavitáciu a (obzvlášť v jedноплаšťových tlmičoch) zabezpečovať správne fungovanie samočinných ventilov. Pre otvorenie ventilov v pieste je potrebný určitý tlakový rozdiel. Olej sa vyznačuje mnohonásobne vyššou stlačiteľnosťou než plyn. Pri kompresii tlmiča je však stláčaný aj plyn vo vyrovnávacom priestore. Bez dostatočného pretlaku by moment, kedy sa otvoria ventily a tlmič začne plniť svoju funkciu, nastal s oneskorením potrebným na stlačenie plynovej náplne a následný nárast tlakového rozdielu na dostatočnú úroveň. Pri spätnom pohybe sa stláča iba olej v časti pracovného priestoru nad piestom. Nárast tlaku a následné otvorenie príslušných ventilov je takmer okamžité, pretlak však pomáha prekonať trecie odpory. V dvojplášťových tlmičoch je funkcia piestnych ventilov primárne riadená vhodne dimenzovanými ventilmi medzi pracovným a vyrovnávacím priestorom, vďaka čomu môžu pracovať s nižším pretlakom [9].

## 2.2 Kavítacia a prevzdušňovanie

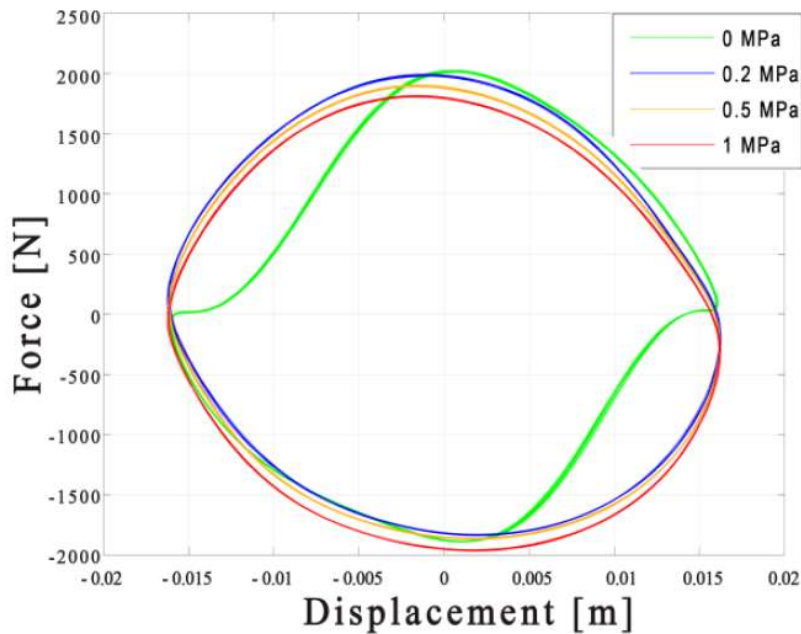
Bublínky plynu a výparov vznikajúce v kvapalinovej náplni tlmiča za sťažených prevádzkových podmienok sú bežne pozorovaný problém, negatívne ovplyvňujúci riadenie a komfort vozidla. K ich vzniku dochádza v miestach, kde zúžený prierez, tvarové prvky a iné reštrikcie obmedzujú prietok kvapaliny. Potenciálna tlaková energia sa mení na kinetickú, čím sa zvýši prietoková rýchlosť a zníži tlak [8].

Kavitáciou sa rozumie formácia dutín vyplnených plynnou fázou kvapaliny z dôvodu lokálneho poklesu dynamického tlaku pod tlak nasýtených pár [8]. Pri vyšších teplotách sa hodnota tlaku nasýtených pár posúva k vyšším hodnotám a na vyvolanie kavitácie stačí nižšia rýchlosť prúdenia. Vysoká teplota oleja nepredstavuje pre bežné osobné vozidlá výrazný problém, vyskytuje sa však pri záťaži a podmienkach charakteristických pre rôzne disciplíny motoršportu, ako napr. rýchla jazda po nerovnom nespevnenom povrchu, bezprostredná blízkosť výfukového či chladiaceho systému alebo horúci púštny vzduch [9].

Olej v tlmiči prirodzene obsahuje určité množstvo rozpusteného vzduchu. Obzvlášť v dvojplášťových tlmičoch, kde nie je olejová náplň oddelená od plynovej, je plyn cez olej cirkulovaný, zmiešava sa s ním a je v ňom hojne rozpúšťaný – náplň sa prevzdušňuje. Rozpustnosť plynu v kvapaline je podľa Henryho zákona priamo úmerná absolútnemu tlaku, preto keď tlak v roztoku klesne pod tlak nasýtenia, kvapalina už nie je schopná udržať v sebe plyn v rozpustenej podobe. Náplň alebo jej časť sa v dôsledku kavitácie zmení na emulziu tvorenú kvapalinou a bublinami uvoľneného plynu [8].

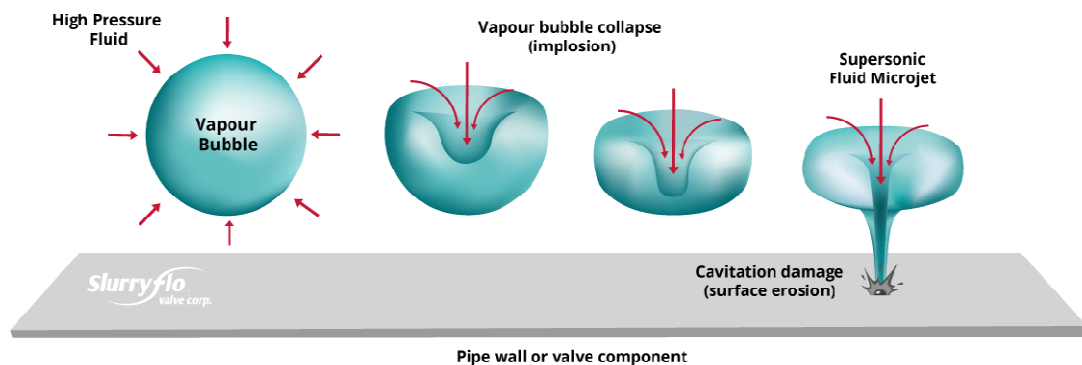
Stlačiteľnosť čistého oleja je menšia než  $0,5 \% \text{ Pa}^{-6}$ , počas prevádzky sa však môže výraznou mierou zvýšiť celková stlačiteľnosť náplne kvôli vzniknutým dutinám [9]. Dôsledky sú zjavné z priebehu tlmiacej sily pri rôznych podmienkach na obr. 3 (tlmič, v ktorom dochádza ku kavitácii, reprezentuje zelená slučka). Diagram sa číta v smere hodinových ručičiek, pričom tlmiaca sila nadobúda kladné hodnoty pri stláčaní a záporné pri spätnom pohybe. Obsah plochy ohraničený slučkou reprezentuje množstvo energie, ktoré je tlmič pri danom rozkmitení schopný disipovať počas jednej periódy [21]. Pri spätnom pohybe piestnice z krajných polôh najprv skolabujú dutiny kvôli vyššej stlačiteľnosti plynov (resp. pár) a následne dochádza k pretláčaniu oleja cez otvory v piestnici, čo vyvoláva oneskorený nábeh tlmiacej sily [8]. Tlmič je zároveň schopný disipovať menej energie.





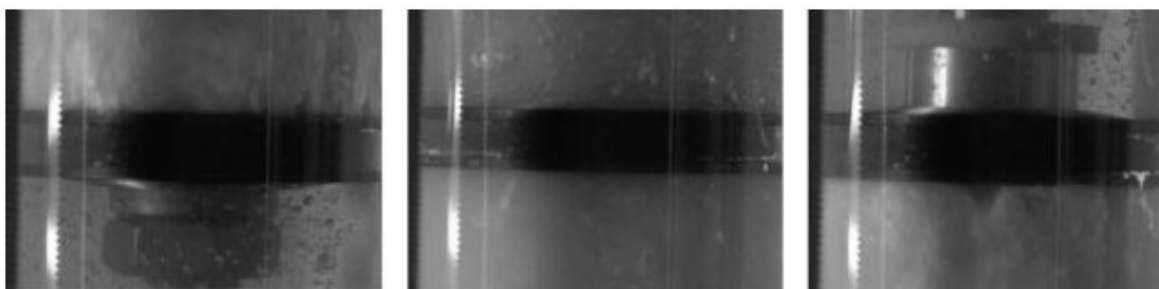
Obr. 2-2 F-z diagram makety jednoplášťového tlmiča pri frekvencii zaťažovania 6 Hz a teplote 20 °C [21]

Náhly kolaps dutín a bublín vyvoláva rázové tlakové vlny, ktoré sa prejavujú akustickou emisiou [19] a vibráciami [8]. Ak k implóziám dochádza v blízkosti pevného povrchu (prípadne priamo na ňom), výsledkom je malý, ale mimoriadne silný prúd kvapaliny namierený na povrch. Dlhodobé vystavenie takýmto prúdom spôsobuje eróziu povrchu a je príčinou zrýchleného opotrebenia piestu tlmiča [9].

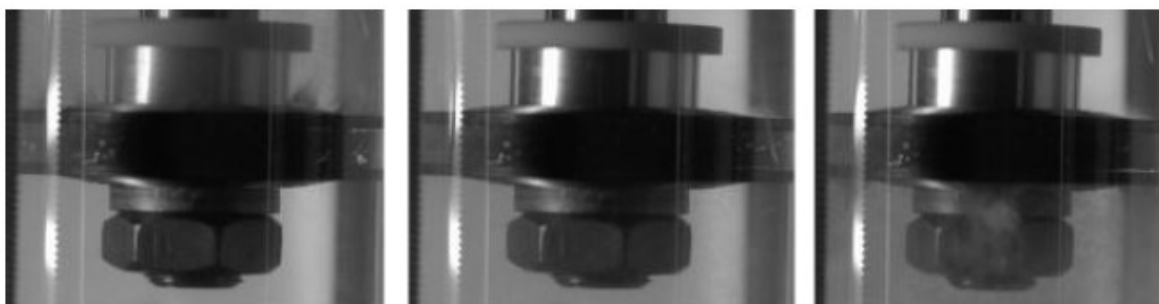


Obr. 2-3 Mechanizmus kavitačného poškodzovania povrchu [34]

Kvôli kavitácii sa nesmie v tlmiči vyskytnúť tlak nižší ako atmosférický, a to aj v prípade, že teplota varu konkrétneho oleja je vyššia než maximálna prevádzková teplota. Ďalšou teoretickou možnosťou obmedzenia kavitácie je použitie oleja s vyššou viskozitou, čo by však malo negatívny dopad na tlmiace vlastnosti [9]. Prevzdušňovanie sa dá v jednoplášťových tlmičoch minimalizovať pomocou vákuovej plničky, ktorá zbaví olejovú náplň väčšiny rozpusteného plynu [5].



Obr. 2-4 Miera kavitácie bez pretlaku pri frekvencii 6 Hz [21]



Obr. 2-5 Miera kavitácie pri pretlaku 0,2 MPa pri frekvencii 6 Hz [21]

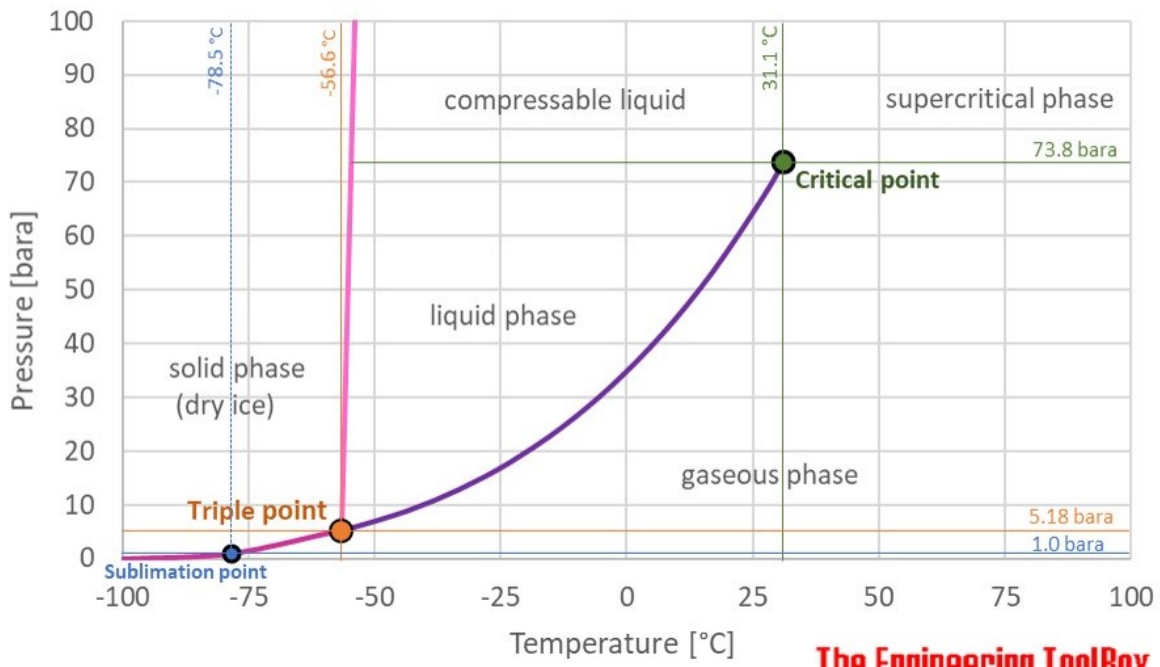
## 2.3 Plniace plyny

Plynová komora sa v súčasnosti plní výlučne čistým dusíkom. Najčastejšie uvádzané výhody dusíku v porovnaní s atmosférickým vzduchom (t.j. 78 % N<sub>2</sub>, 21 % O<sub>2</sub> a 1 % CO<sub>2</sub>, vodná para a vzácne plyny) sú rovnomerná kompresia, lepšie udržiavanie požadovaného tlaku, nereaktivnosť a absencia vlhkosti [23]. Vzduch v atmosfére je takmer zo 4/5 tvorený práve dusíkom, rozdiely sú preto v niektorých menovaných oblastiach zanedbateľné. Stlačiteľnosť čistého dusíku a vzduchu je pri rovnakých podmienkach prakticky totožná, a to až do tlaku 300 MPa [3]. Tepelná rozťažnosť je taktiež skoro totožná – počas experimentu vykonanom na dvoch tlakových nádobách naplnených zhodnými množstvami spomínaných plynov pri ohreve z -28,9 °C na 56,7 °C stúpol tlak oboch plynov zhodne o približne 38 % [28]. Štúdia zameraná na porovnanie schopností dusíku a vzduchu udržať konštantnú úroveň tlaku v pneumatikách zistila medzi plynmi len minimálne rozdiely – v priebehu jedného roka klesol tlak z pôvodnej hodnoty 206,8 kPa o 24,1 kPa v prípade vzduchu a 15,2 kPa v prípade dusíku. Rozdiel 8,9 kPa bol vyhodnotený ako nevýznamný a autori zdôraznili nutnosť pravidelnej kontroly tlaku nehládajac na použitý plyn. Nereaktivnosť dusíku bola pri priamom porovnávaní so vzduchom obsahujúcim kyslík označená ako dôležitejší faktor. Strata pružnosti gumy a jej krehnutie spôsobené dlhodobou prebiehajúcou oxidáciou môžu viesť k netesnostiam a tvorbe trhlín [4]. Tento efekt sa nedotýka výlučne pneumatík, je relevantný aj pre tlmiče obsahujúce gumové tesnenia

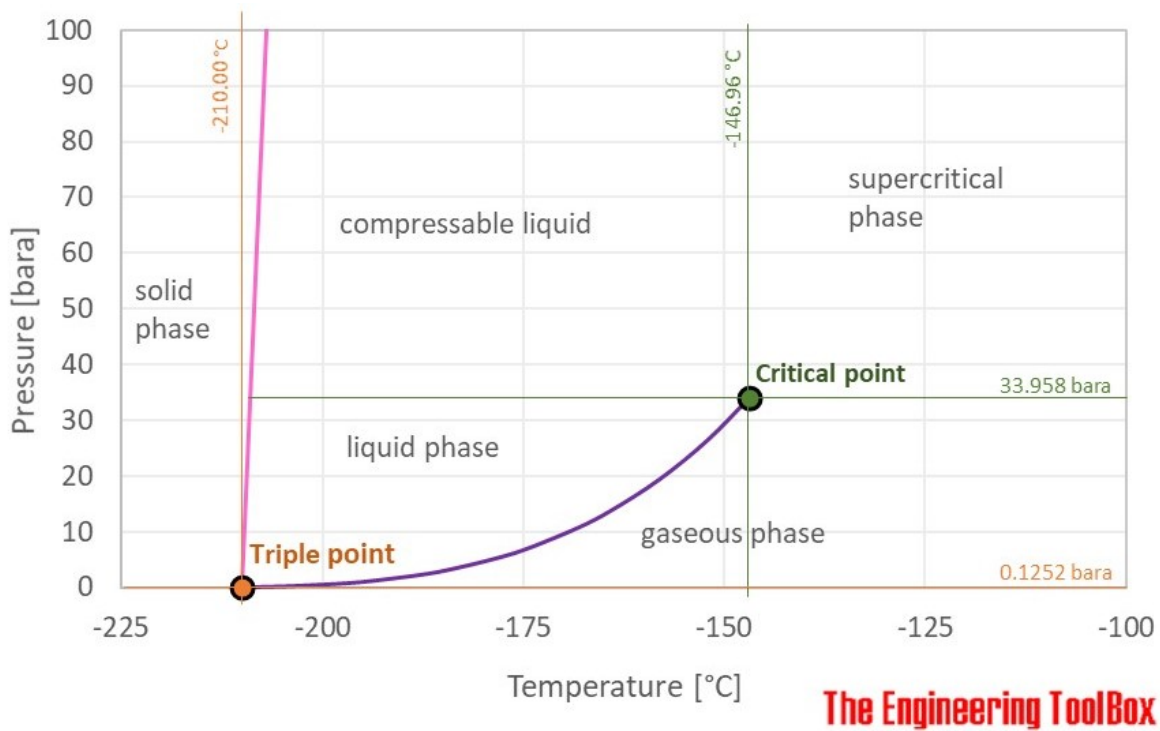
Zďaleka najväčšou nevýhodou vzduchu je však prítomnosť vlhkosti. V kombinácii s kyslíkom spôsobuje koróziu stien vyrovnávacieho priestoru a pri zvýšenej prevádzkovej teplote sa premieňa na paru, pričom expanduje na mnohonásobok pôvodného objemu [23]. Nárast tlaku by bol v takom prípade výrazne vyšší ako pri čistom plyne expandujúcom v závislosti na zmene teploty podľa stavovej rovnice.

K dominancii dusíku v nemalej miere prispieva jeho bezproblémová dostupnosť. Vďaka svojim chemickým vlastnostiam nachádza dusík uplatnenie v mnohých oblastiach vedeckého výskumu a takmer všetkých odvetviach priemyslu. Existuje preto rozvinutá sieť tovární na spracovanie plynov, ktorá dodáva dusík v tlakových fľašiach odberateľom (od veľkých továrenských komplexov až po malé podniky a špecializované obchody). Výrobcovia s obzvlášť veľkou spotrebou často implementujú systémy generujúce dusík z atmosféry priamo do výrobných linky, čím sa zbavia potreby manipulovať so značným množstvom tlakových fliaš (a po prvotnej investícii) znížia celkové náklady na výrobu [26].

Kvôli výbornej dostupnosti a podobným vlastnostiam sa ako ďalší vhodný plyn javí oxid uhličitý. Na plnenie tlmičov sa však nepoužíva, mohlo by totiž dôjsť k poškodeniu tlmiča. Pri stlačení tlmiča sa v krátkom okamihu výrazne zníži objem plynovej komory a dochádza k takmer adiabatickej kompresii. Zvyšovaním tlaku pri teplote nižšej ako teplota kritického bodu sa plynná fáza mení na kvapalnú. V momente, kedy plynová náplň skvapalnie, sa stane rovnako ťažko stlačiteľnou ako olej. Vyrovnávacia komora neplní svoju primárnu funkciu a pohyb piestu je násilne zastavený. Z fázových diagramov na obr. 6 a 7 je zjavné, že v prípade  $\text{CO}_2$  môže tento jav nastať pri teplotách omnoho vyšších a bežnejších ako pri  $\text{N}_2$ .



Obr. 2-6 Fázový diagram CO<sub>2</sub> [7]



Obr. 2-7 Fázový diagram N<sub>2</sub> [27]

## 2.4 Plnenie tlmičov

### 2.4.1 Plnenie tlmičov bez ventilu

Konštrukcia a charakteristiky masovo vyrábaných tlmičov určených do bežnej prevádzky sú navrhnuté tak, aby tlmič bez nutnosti dodatočných úprav uspokojivo plnil svoju funkciu v širokej škále podmienok a situácií. Bežné tlmiče sú koncipované ako nerozoberateľné a nenastaviteľné, v prípade straty tlmiacich vlastností sa mení celá jednotka. Tento prístup počíta s jediným natlakovaním tlmiča v rámci jeho životnosti, a to pri výrobe. Plnenie dusíkom sa vykonáva na takmer kompletne zostavených tlmičoch naplnených olejom [14].

Plnenie nerozoberateľných tlmičov plynom sa najčastejšie vykonáva v automatizovaných strojoch cez provizórny plniaci otvor vyrazený do vonkajšieho plášťa. Na otvor je pritlačená plniaca hlava lemovaná gumovým tesnením. Po naplnení na požadovaný tlak sa otvor zapečatí bodovým zvarom, plniaca hlava sa oddiali a prebytočný plyn uzavretý medzi vonkajším plášťom a hlavou je vypustený do atmosféry [14]. Ďalšie možnosti ako dosiahnuť pretlak v nerozoberateľnom tlmiči zahŕňajú:

- montáž v pretlakovej komore,
- plnenie tekutým dusíkom bezprostredne nasledované kompletáciou a utesnením,
- montáž s využitím nastavnej rúry (dvojplášťové tlmiče).

Kvôli nerozoberateľnému charakteru bežných tlmičov neexistuje takmer žiadne vybavenie slúžiace na opätovné plnenie plynom. Ojedinelú výnimku predstavuje plniaca stanica vyrábaná firmou *MSG Equipment*.



Obr. 2-8 Plniaca stanica MSG MS 200 [22]

Pracovný postup je v princípe rovnaký ako pri plnení cez provizórny otvor pri výrobe. Tlmič je upnutý do stanice a pomocou vedenia sa do vonkajšieho plášťa vyvrta plniaci otvor. Do otvoru je nalisovaná priechodná plastová zátka plniaca úlohu tesnenia. Na otvor sa pritlačí hlava s plniacou hubicou, napojená cez hadicu na tlakovú fľašu. Po naplnení na požadovaný tlak sa do zátky nalisuje kovový kolík (vložený do trysky pred pritlačením hlavy), čím sa vyrovnávací priestor znova uzavrie a utesní [22].

#### 2.4.2 Plnenie tlmičov s ventilom

Konštrukcia niektorých tlmičov umožňuje ich plnenie pri výrobe aj údržbe bez porušovania vonkajšieho plášťa. Spravidla sa jedná o tlmiče s relatívne malým objemom výroby určené pre motoršport, ktorých zostava ani plnenie nie sú automatizované [13]. Komerčne dostupné adaptéry sú usposobené na použitie s autoventilom alebo samotesniacou gumovou zátkou. Absencia adaptérov pre iné štandardne používané ventily (napr. galuskový a cykloventil) naznačuje, že sa jedná o jediné používané druhy konštrukčných prvkov umožňujúcich neinvazívne natlakovanie tlmičov.



Obr. 2-9 Expanzná nádoba s autoventilom [10]



Obr. 2-10 Veko expanznej nádoby s gumovou zátkou [2]



Obr. 2-11 Plnenie tlmiča značky Nitron pri výrobe [13]

### 2.4.3 Komerčne dostupné adaptéry

Pod pojmom plniaci adaptér sa rozumie zariadenie umožňujúce kontrolu a úpravu tlaku v expanznej komore tlmiča, resp. umožňujúce vykonávať menované úkony bez úniku plniaceho plynu, ktorý by nastal pri použití koncoviek s fixným stláčacím kolíkom počas odpájania.

#### Základná forma

Drvivá väčšina vyrábaných adaptérov má rovnaké funkčné usporiadanie. V jednodielnom obrobku sú umiestnené tri prvky – manometer, prípojka na zdroj tlaku (v drivej väčšine prípadov autoventil) a bezstratová spojka alebo redukcia na injekčnú ihlu. Jednotlivé adaptéry používajú často zhodné komponenty, líšia sa rôznou kvalitou spracovania, maximálnym plniacim tlakom (v rozmedzí približne 2-2,7 MPa) a usporiadaním spomínaných prvkov. Ich plnenie môže v prípade, kedy časť karosérie či podvozku obmedzuje prístup k ventilu, vyžadovať demontáž tlmiča z vozidla.



Obr. 2-12 Adaptér King Shock [17]



Obr. 2-13 Adaptér Intercomp [15]



Obr. 2-14 Adaptér s ihlou od neznámeho výrobcu [33]

Postup plnenia pomocou adaptéra je nasledovný:

**Autoventil:** pred plnením sa odporúča vypustiť všetok plyn v tlmiči stlačením kolíka autoventilu a otočiť vratidlo proti smeru hodinových ručičiek až na doraz. Adaptér napojený hadicou na tlakovú fľašu sa následne naskrutkuje na ventil a dotiahne. Vratidlo sa otočí v smere hodinových ručičiek, čo spôsobí stlačenie kolíka autoventilu a jeho otvorenie. Tlak sa reguluje riadením prietoku plniaceho zariadenia (a vypúšťacím ventilom v prípade, že je v adaptéri zahrnutý). Po dosiahnutí požadovaného tlaku sa ventil uzavrie a vratidlo sa otočí na doraz v protismere ručičiek. Plyn v adaptéri sa vypustí do atmosféry a adaptér je možné bezpečne odstrániť [25].



**Zátka:** po upevnení ihly do redukcie a pripojení adaptéru na tlakovú nádobu sa odstráni ochranná skrutka a ihla sa vsunie do zátky. Pomocou regulátora sa tlmič naplní na požadovaný tlak. Nakoniec sa ihla pomaly vytiahne a plniaci otvor sa uzavrie ochrannou skrutkou [24].

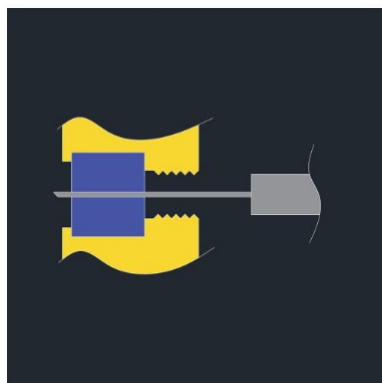


Figure 1

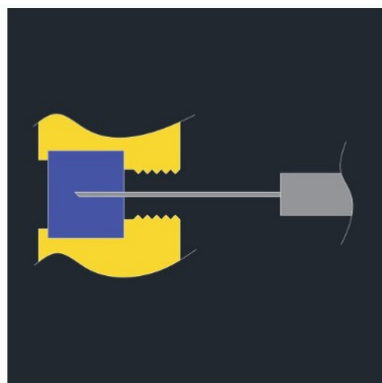


Figure 2

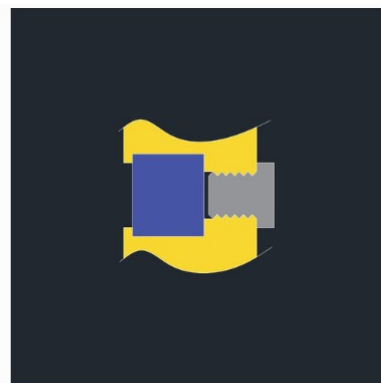


Figure 3

Obr. 2-15 Postup plnenia tlmiča cez zátku [29]

## Motion Pro

Cena: 5 650 (+450) Kč



Obr. 2-16 Adaptér Motion Pro [25]

Adaptér Motion Pro predstavuje veľmi univerzálny nástroj pre plnenie oboch variant tlmičov. Súprava okrem adaptéru obsahuje predlžovací nástavec nevyhnutný pre tlmiče, ktorých konštrukcia neumožňuje priame pripojenie (autoventil v priehlbine). Spojka je s telom spojená približne tridsaťcentimetrovou hadicou, nevyžaduje sa preto demontáž tlmiča. V tele je zahrnutý vypúšťací ventil. Výrobca k adaptéru dodatočne ponúka redukciu na ihly, nahrádzajúcu hadicu a spojku. Nevýhodou je nízky maximálny plniaci tlak približne 2 MPa, ktorý je pre niektoré jednoplášťové tlmiče nedostatočný.



Obr. 2-17 Redukcia na ihlu Motion Pro [24]

## Race Tech

Cena: 3 350 Kč



Obr. 2-18 Adaptér Race Tech [31]

Tento adaptér predstavuje ojedinelý prípad so spojkou špecifickej konštrukcie integrovanou v tele adaptéra. Spojka je v tele voľne otočná a doťahuje sa ručne. Umiestnenie drážkovaného doťahovacieho kolieska v spojení s predĺženým driekom umožňuje použitie na tlmíče so zapusteným ventilom. Pre reguláciu plnenia je adaptér vybavený dvoma ventilmi – guľovým a vypúšťacím. Pripájaciu koncovku tvorí palcový závit s kužeľovou plochou. Kvôli relatívne masívnemu telu je za účelom plnenia nutná demontáž tlmíča. Maximálny plniaci tlak je opäť približne 2 MPa.

## Beto

Cena: 770 Kč



Obr. 2-19 Pumpička na tlmiče Beto [6]

Posledná nápaditá možnosť je ručná pumpička na tlmiče. Bezstratová spojka má minimálne rozmery a rovnaké prevedenie ako pri predchádzajúcom adaptéri – uťahovanie rukou a predĺžená závitová časť. Navyše je umiestená na konci hadice, demontáž tlmiča teda nie je nutná. Pri manometri sa nachádza stláčací vypúšťací ventil a maximálny tlak je na úrovni lepších adaptérov. Z koncepcie pumpičky však vyplýva, že sa ňou dá tlmič plniť len neoštetreným atmosférickým vzduchom.

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE

### 3.1 Analýza problému

Správna úroveň natlakovania je vo viacerých ohľadoch nevyhnutná pre správny chod tlmiča. Z dôvodu vysokých tlakov vyskytujúcich sa v športových tlmičoch by aj malý únik plynu pri plnení spôsobil citeľný pokles tlaku a je preto neprípustný. Adaptéry na tlmiče sa z toho dôvodu často označujú ako „no loss“ – bezstratové (toto platí pre adaptéry pracujúce s autoventilom, gumová zátka sa pri vyťahovaní ihly prirodzene uzatvára a neprepúšťa plyn). Otváranie aj zatváranie ventilu prebieha v uzavretej konfigurácii namiesto počas montáže/demontáže, ako napr. pri bežných pumpách na bicykle. Podobný efekt sa dá dosiahnuť aj úplným odstránením stláčacieho kolíku – otváranie a zatváranie ventilu v tom prípade zabezpečuje pretlak a pružina ventilu. Pri tomto postupe však vzniká rozdiel medzi tlakom nameraným pri plnení a bezprostredne po ňom, prameniáci pravdepodobne z predčasného zatvorenia ventilu a/alebo vypúšťania vzduchu z plniaceho aparátu po dosiahnutí požadovaného tlaku.

### 3.2 Zhodnotenie rešerše

Výsledná rešerša splnila pôvodný zámer zhrnutia poznatkov o plnení a zároveň poskytla prehľad vyrábaných adaptérov, ktorý je nevyhnutný pre vytvorenie koncepčného návrhu. Údržba a ladenie tlmičov (a podvozkov všeobecne) spadá pod oblasť záujmu profesionálov, ale aj nadšencov-amatérov. Viacero poznatkov a tvrdení bolo dohľadateľných iba v internetových fórach zameraných na problematiku podvozkov, a až následne mohli byť správne formulované a overené z hodnoverných zdrojov ako profesionálne články či experimentálne merania. Najrelevantnejšie poznatky pre prácu sa dajú zhrnúť v troch bodoch:

- Na plnenie tlmičov je možné použiť dusík z tlakovej nádoby aj atmosférický vzduch, z ktorého bola odstránená vlhkosť, a to bez badateľného negatívneho dopadu na funkciu tlmiča. Rozdiely vo fyzikálnych vlastnostiach a dlhodobej strate tlaku nie sú dostatočné na to, aby obhájili použitie jedného pred druhým. Presvedčivý argument v prospech dusíka je jeho šetrnosť ku gumovým tesneniam a dobrá dostupnosť.
- Expanzné komory tlmičov sa plnia buď cez autoventil alebo gumovú zátku pomocou injekčnej ihly.

- Drvivá väčšina dostupných adaptérov nie je univerzálna – “priamo z krabice” sú použiteľné len na jeden alebo druhý spôsob plnenia a vyžadujú jeden konkrétny typ prípojky (vo väčšine prípadov autoventil). Ich použitie v niektorých podmienkach vyžaduje dodatočné nástavce, doplnky či redukcie.

### 3.3 Cieľ práce

Na základe vlastnej rešerše boli po jej zhodnotení a konzultácii s vedúcim práce vytýčené nasledujúce čiastkové ciele bakalárskej práce:

- Experimentálne zmeranie tlakových strát pri alternatívnych spôsoboch plnenia a posúdenie prvkov jednoduchého plniaceho adaptéra.
- Vypracovanie návrhu adaptéra pre plnenie jednoplášťových plynokvapalinových tlmičov plynným médiom, ktorý spĺňa parametre definované v zadaní a dodatočné požiadavky vyplývajúce z rešerše, príp. vlastného testu:
  - prevádzkový tlak do 3 MPa,
  - možnosť presného merania plniaceho tlaku manometrom zahrnutým v samotnom adaptéri
  - možnosť regulácie plniaceho tlaku pomocou zabudovaného vypúšťacieho ventilu,
  - kompatibilita s autoventilom a zátkou,
  - zahrnutie armatúr zabezpečujúcich kompatibilitu s kompresorom, hustilkou aj tlakovou fľašou,
  - možnosť kontroly tlaku v tlmiči (je povolený pokles tlaku spôsobený vnútorným objemom adaptéra).
- Vypracovanie kompletnej výkresovej a technickej dokumentácie.

## 4 KONCEPČNÉ RIEŠENIE

### 4.1 Meranie tlakovej straty pri plnení

#### 4.1.1 Ciele merania

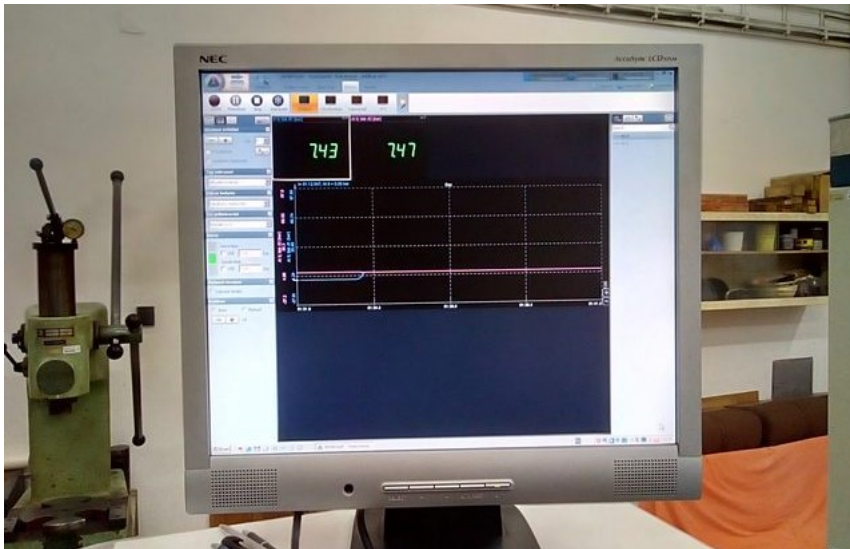
Primárnym cieľom merania je na zjednodušenej sústave reprezentujúcej tlmič plnený plynom experimentálne overiť charakter tlakovej straty vznikajúcej pri plnení koncovkou na autoventil bez stláčacieho kolíku. Na základe priebehu a výsledkov sa určí príčina straty a posúdi sa vhodnosť plnenia takýmto spôsobom. Sekundárnym cieľom je zoznámenie sa s používaním plniaceho adaptéra a využitie získaných skúseností pri navrhovaní vlastnej konštrukcie.

#### 4.1.2 Meracia sústava

Meracia sústava reprezentujúca tlmič plnený plynom je tvorená externým rezervoárom tlmiča s autoventilom, jednoduchým plniacim adaptérom s bezstratovou spojkou a dvoma elektronickými tlakovými snímačmi umožňujúcimi vzájomné porovnanie reálneho tlaku v rezervoári a tlaku udávaného adaptérom či regulátorom. Použitý rezervoár nebol z dôvodu problémov s utesnením počas merania naplnený olejom ani vybavený separátorom – v tejto konfigurácii sa vnútorný objem navýšil z  $168 \text{ cm}^3$  na  $242 \text{ cm}^3$ . Na autoventil bolo pridané rozvetvenie umožňujúce pripojenie snímača. Použité snímače tlaku disponovali meracím rozsahom  $0\text{-}20 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ .



Obr. 4-1 Testovacia sústava



Obr. 4-2 Výstup z tlakových snímačov

### 4.1.3 Postup

- Po kontrole utesnenia všetkých spojov v testovanej aparátúre sa snímače nakalibrovali na nulovú hodnotu (oba ventily otvorené, všetky vnútorné priestory spojené s atmosférou). Pred začiatkom merania bola kalibrácia otestovaná natlakovaním aparátúry pri otvorenom ventile na pretlak 1 MPa (podľa snímača na vstupe). Samotné meranie prebiehalo nasledovne:
- Otočením vratidla adaptéra do krajnej polohy v protismere hodinových ručičiek sa uzavrel ventil.
- Sústava sa natlakovala na požadovaný tlak (riadiac sa výstupom zo snímača na vstupe)
- a zaznamenali sa obe hodnoty.
- Pomocou vypúšťacieho ventilu na pumpe sa vypustil vzduch z adaptéra a znova sa zaznamenala hodnota zo snímača v expanznej nádobe.
- Otočením vratidla adaptéra do krajnej polohy v smere hodinových ručičiek sa otvoril ventil a pomocou ventilu na pumpe sa vypustil vzduch z celej sústavy.
- Celý postup sa opakoval, kým nebol nameraný potrebný počet hodnôt.

### 4.1.4 Pozorovania z priebehu experimentu

- Doťahovanie bezstratovej spojky pomocou kľúča bolo problematické, nakoľko použitá expanzná nádoba mala autoventil kvôli ochrane pred mechanickým poškodením umiestnený v priehlbine.

- Počas celého merania hodnoty na výstupoch oscilovali s amplitúdou do 1 kPa (frekvencia zaznamenávania bola nastavená na 10 Hz). Táto oscilácia bola následkom elektronického šumu.
- Po vypustení vzduchu z adaptéra bol pozorovaný rovnomerný pomalý pokles tlaku v expanznej nádobe, pravdepodobne v dôsledku chladnutia vzduchu zohriateho pri kompresii v pumpe.

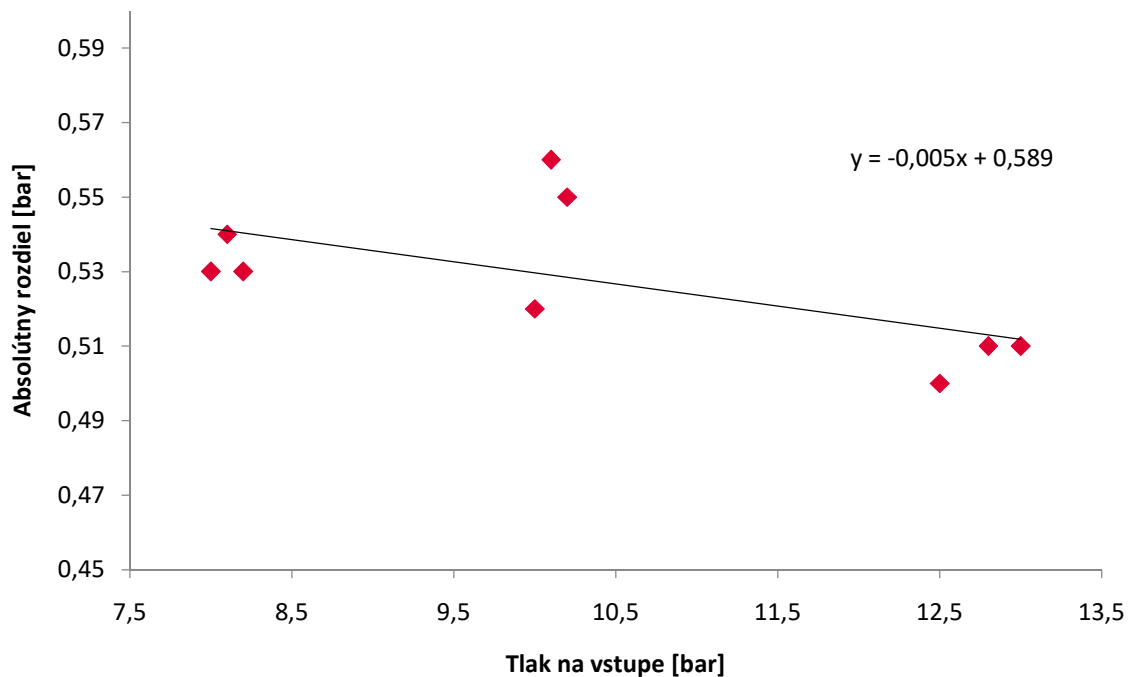
#### 4.1.5 Výsledky a záver

Testovacie natlakovanie ukázalo, že meranie je zaťažené chybou rádovo v stotínach baru, pravdepodobne spôsobenou využitím menej než 7 % meracieho rozsahu snímačov v priebehu celého merania. Absolútny rozdiel medzi tlakmi pred a za ventilom nadobúdali pre rôzne úrovne natlakovania veľmi podobné hodnoty.

Tab. 4-1 Zaznamenané hodnoty [kPa]

Meranie	Adaptér	Rezervoár	Rozdiel	Rezervoár po odpojení	Strata
test	1000	997	3	-	-
1	1010	954	56	952	2
2	1020	965	55	964	1
3	1000	948	52	947	1
4	1280	1229	51	1228	1
5	1300	1249	51	1247	2
6	1250	1200	50	1198	2
7	800	747	53	746	1
8	820	767	53	766	1
9	810	756	54	755	1

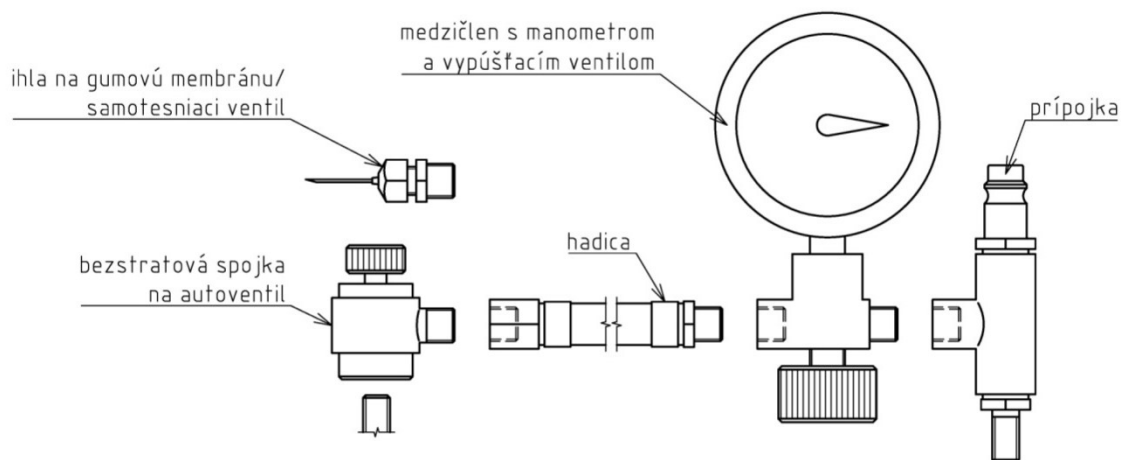




Obr. 4-3 Výsledky merania

Namerané rozdiely sa dajú s koeficientom korelácie  $-0,609$  preložiť regresnou priamkou blížiacou sa konštantnej funkcii. Dá sa predpokladať, že pri početnejších meraniach a širšom rozsahu tlakov by sa priebeh rozdielu ku konštantnej funkcii priblížil ešte viac. Na základe priebehu merania sa dá vylúčiť možnosť úniku vzduchu počas vypúšťania adaptéra. Konštantný rozdiel pri rôznych tlakoch predstavuje pretlak potrebný na prekonanie sily pružiny a otvorenie ventilu. Hneď ako rozdiel klesne pod približne  $0,53$  bar, ventil sa uzavrie. Relatívna tlaková strata by predstavovala  $26,5-6,6\%$  v nízkotlakových a  $2,7-1,8\%$  vo vysokotlakových tlmičoch. Za predpokladu, že by sa meranie opakovalo viackrát pre širší rozsah tlakov a hodnota straty by sa určila s väčšou presnosťou pre rôzne teploty, bolo by teoreticky možné presné natlakovanie pomocou koncovky bez stláčacieho kolíku prostým odčítaním straty od zobrazovanej hodnoty tlaku. Takýto postup by bol pre jednorazové, príp. veľmi zriedkavé plnenie vhodnejší než kúpa relatívne drahého adaptéra. Ten však zostáva nutnou výbavou pre mechanikov vykonávajúcich pravidelné úpravy tlmičov.

## 4.2 Vlastný návrh

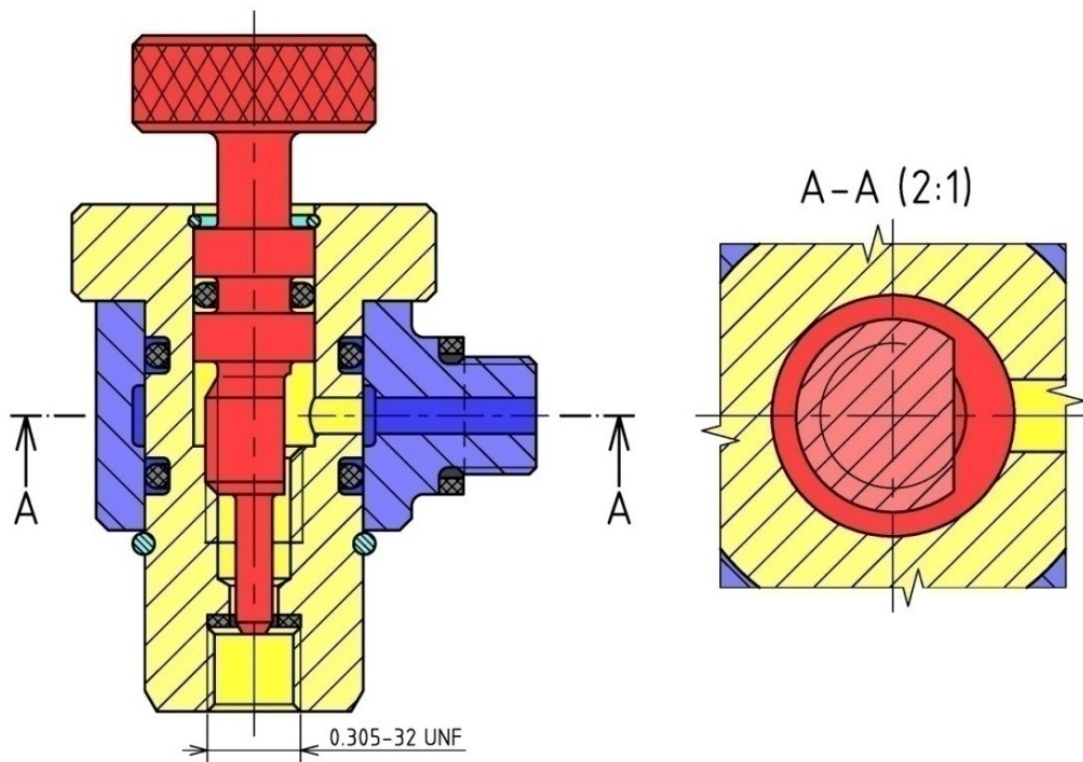


Obr. 4-4 Schéma zostavy

Za účelom maximálnej univerzálnosti je adaptér navrhnutý ako modulárna sériová skladačka – každý člen (s výnimkou koncových) je vybavený zhodným vonkajším a vnútorným závitom a je ho možné podľa konkrétneho použitia a dostupných spôsobov plnenia zahrnúť alebo vynechať, prípadne nahradiť alternatívnym členom plniacim tú istú úlohu. Napríklad koncový člen je štandardne umiestnený na hadici, aby za účelom plnenia nebola ani v prípade zhoršeného prístupu nutná demontáž tlmiča. V prípade, že je tlmič už demontovaný, by hadica prekážala a bola by z adaptéra vynechaná. Tesnenie medzi jednotlivými členmi zaisťujú ploché PTFE tesnenia. Konfigurácia sa bude v rámci používania opakovane meniť, je preto výhodná vyššia mechanická odolnosť v porovnaní s gumovými a vlákňitými tesneniami. Vďaka vyššej tuhosti je taktiež znížené riziko extrúzie.

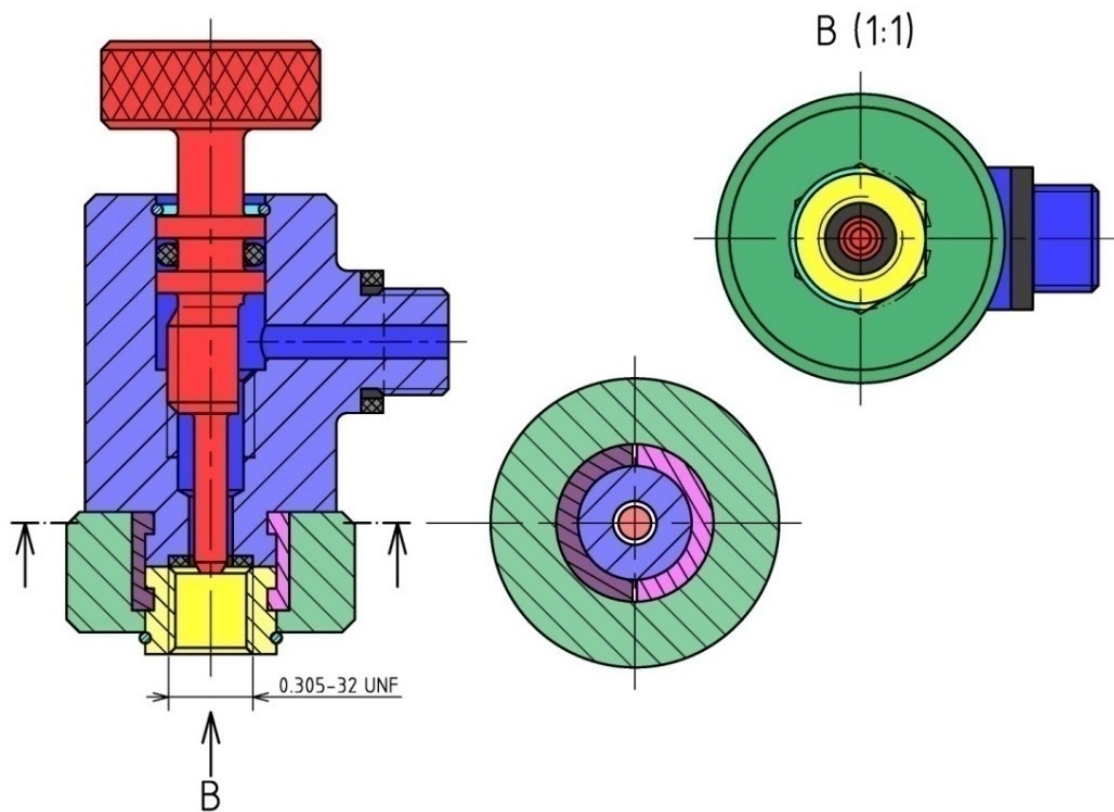
### 4.2.1 Bezstratová spojka

Po negatívnej skúsenosti z merania bolo ručné doťahovanie vyhodnotené ako vhodnejšie než doťahovanie kľúčom. Boli rozpracované dve varianty.



Obr. 4-5 Konceptný návrh spojky – varianta A

Prvou je spojka s ťahovacím kolieskom hore. V tele (modrá) je voľne otočné teleso s vrúbkovaným kolieskom (žltá), ktoré sa priskrutkuje na autoventil. Druhé, menšie vrúbkované koliesko spustí stláčací kolík (červená) a otvorí ventil. Diely sú vzájomne axiálne zaistené z jednej strany čelnou plochou a z druhej poistným krúžkom (tyrkysová). Závitová časť kolíku je pre lepší prietok vzduchu na jednej strane zafrézovaná.



Obr. 4-6 Koncepčný návrh spojky – varianta B

Druhá varianta sa dotahuje pri ventile. Matica (žltá) je voči telu (modrá) axiálne zaistená dvoma polkruhovými čeľusťami (fialová). Tie sú radiálne zaistené prevlečnou obručou (zelená), ktorá je axiálne zaistená poistným krúžkom (tyrkysová). Matica, čeľuste aj obruč sa vzhľadom na telo voľne otáčajú. Matica a obruč sa vďaka do seba zapadajúcim úsekom so šesťuholníkovým prierezom vzájomne neotáčajú. Stlačací kolík (červená) má rovnaké prevedenie ako pri prvej variante.

Utesnenie pohyblivých častí je pri oboch variantách zabezpečené gumovými o-kružkami. V prípade, že pri kontrole konečného návrhu vznikne pri uvažovanom tlaku hrozba extrúzie, pristúpi sa k použitiu podporných krúžkov.

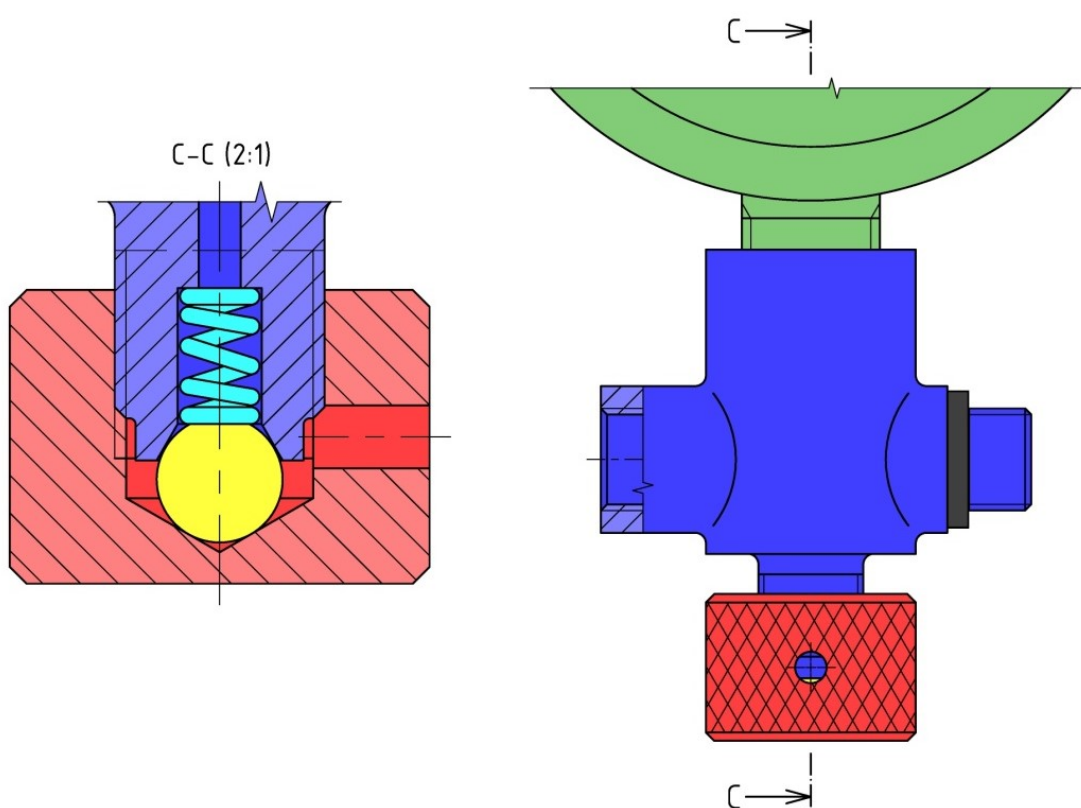
#### 4.2.2 Redukcia na ihlu

Ihla sa do redukcie upína pomocou tzv. Luer-lock systému – kužeľová stopka v spojení s vnútorným závitom, do ktorého sa zaskrutkuje lem hrdla injekčnej ihly.



Obr. 4-7 Redukcia Luer-lock/metrický závit [20]

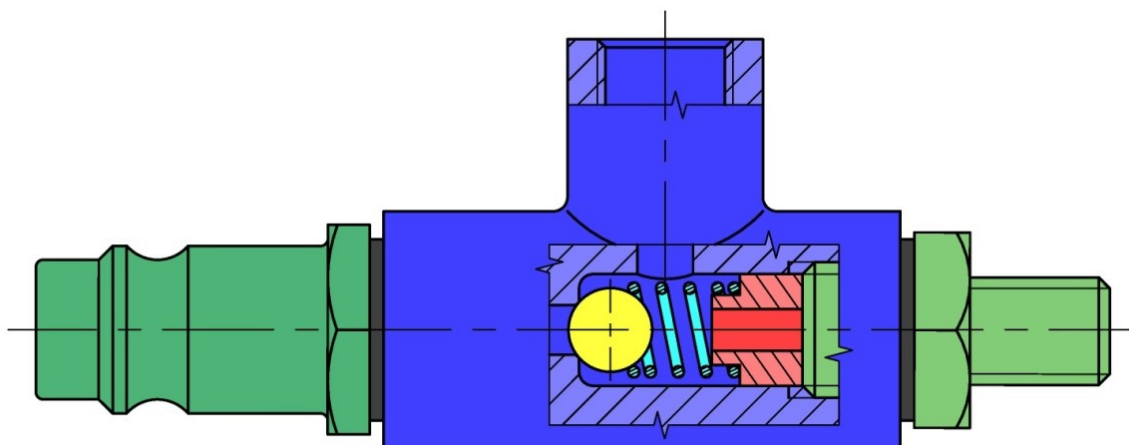
### 4.2.3 Medzičlen



Obr. 4-8 Konceptný návrh medzičlena

Medzičlen v sebe spája dva prvky – manometer a vypúšťací ventil. Drážkované koliesko s vnútorným závitom pritláča oceľovú guľôčku na kuželovú plochu s vysokou kvalitou obrobenia povrchu. Pri čiastočnom odskrutkovaní kolieska pružina odtlačí guľôčku a prebytočný plyn unikne cez otvor v koliesku. Otočný ventil má oproti stláčaciemu ventilu medzi vyrábanými adaptérmi väčšie zastúpenie, pretože umožňuje presnejšie vypúšťanie a jeho otvorenie vyžaduje pri vysokom tlaku menšiu silu. Oddelenie koncového člena od zvyšku adaptéra hadicou umožňuje použitie čitateľnejšieho manometra s väčším ciferníkom.

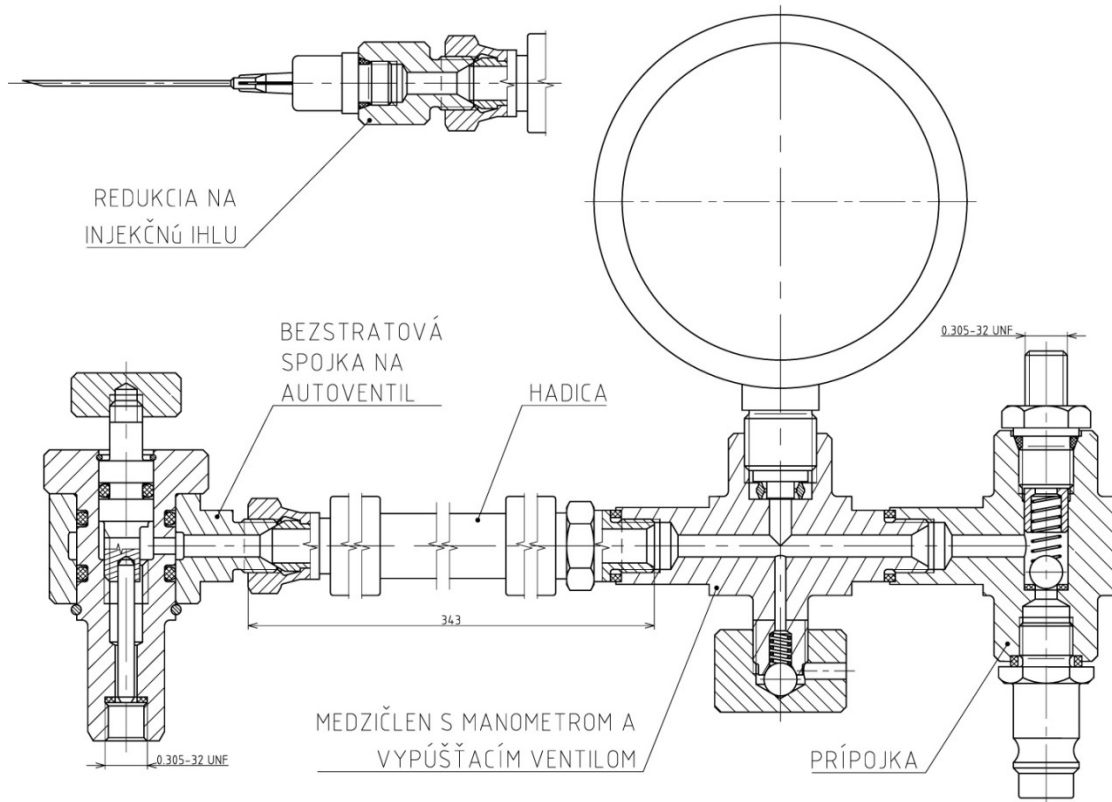
## 4.2.4 Prípojka



Obr. 4-9 Konceptný návrh prípojky

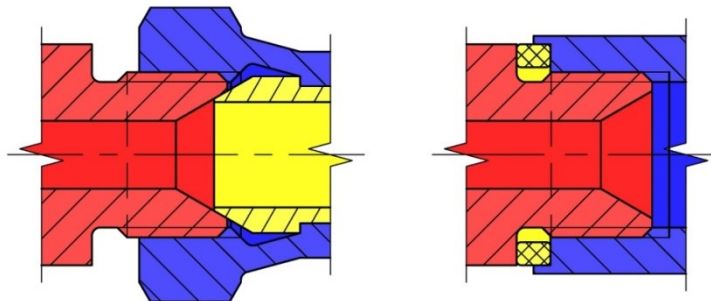
Koncový člen ponúka dve koncovky – autoventil a trň na rýchlospojku (DN 7,2). Bez akýchkoľvek úprav či zaslepovania je možné použiť ktorýkoľvek koniec – autoventil je sám o sebe priepustný len v jednom smere a v tele prípojky je integrovaný jednoduchý guľôčkový spätný ventil pre rýchlospojku. Vedenie pružiny zabezpečuje diel dosadajúci na čelnú plochu závitú autoventilu.

## 5 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE



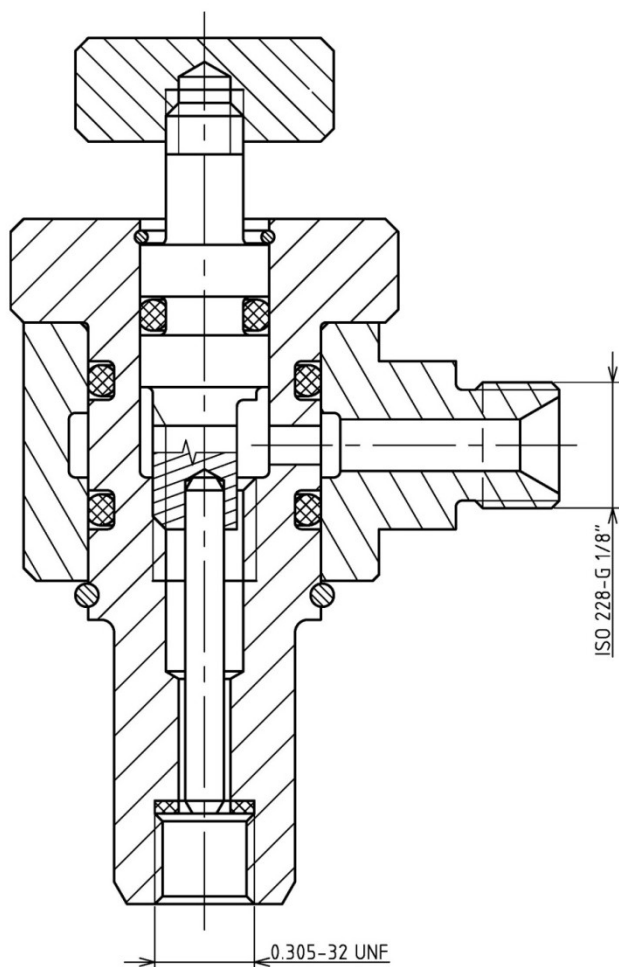
Obr. 5-1 Kompletne zostavený adaptér

Pre spájanie dielov bol zvolený rúrkový valcový závit ISO 228-G 1/8“, bežne používaný na spájanie pneumatických a hydraulických zariadení. Vyrábané diely sú navrhnuté tak, aby sa väčšina obrábacia dala vykonať na sústruhu. Tvarovo zložité diely sú vyrobené zvaraním menších častí. Všetky zvarky v zostave sú vyhotovené podľa ČSN EN 1708-1. Tesné spojenie zabezpečuje podľa potreby buď plochý PTFE krúžok (spoje medzi jednotlivými členmi) alebo kužeľová plocha podľa ISO 8343-6 (spojenie s 1/8“ nátrubkom).



Obr. 5-2 Tesnenie pomocou kužeľovej plochy (vľavo) a plochého PTFE krúžku (vpravo)

## 5.1 Bezstratová spojka



Obr. 5-3 Bezstratová spojka

Na expanznej nádobe použitej pri meraní bol autoventil umiestnený v priehlbine, doťahovanie adaptéru bolo preto problematické. Výroba prevlečnej obruče varianty B by kvôli otvoru so šesťuholníkovým prierezom zahŕňala elektroiskrové alebo elektroerozívne rezanie, príp. obrábanie špeciálnym nožom. Z dôvodu jednoduchšej výroby a vďaka vhodnejšie situovanej časti slúžiacej na doťahovanie bola zvolená konštrukčná varianta A. Oproti koncepčnému návrhu bol koniec otočného telesa pre lepšiu dostupnosť predĺžený a zúžený. Stláčací kolík je v dôsledku predĺženia a v záujme šetrenia materiálu pri sústružení rozdelený na tri diely. Keďže kolík neprenáša žiaden moment, je do drážkovaného kolieska zaskrutkovaný bez zaistenia voči uvoľneniu. Na stláčanie jadra autoventilu slúži nalisovaný valcový kolík (ISO 2338). Telo je tvorené dvojdielnym zvarkom.



### 5.1.1 Kontrola extrúzie o-krúžku

Menovité priemery tesniacich plôch sú 10 a 18 mm a majú zhodné uloženie H8/f8 predpísané v norme PN 02 9280.

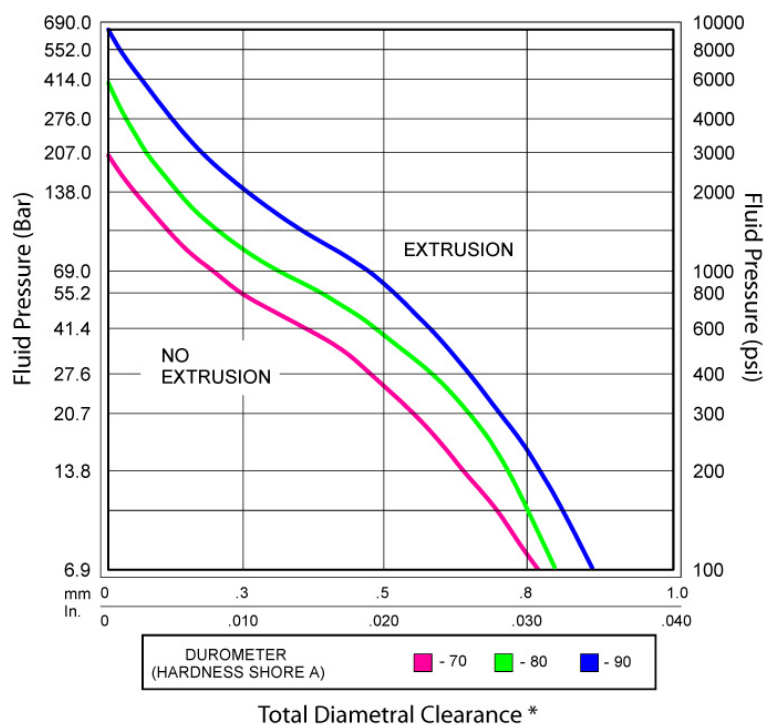
$$v_{1\max} = D_{1\max} - d_{1\min} = 10,022 - 9,965 = 0,057\text{mm}$$

$$v_{1\min} = D_{1\min} - d_{1\max} = 10,000 - 9,987 = 0,013\text{mm}$$

$$v_{2\max} = D_{2\max} - d_{2\min} = 18,027 - 17,957 = 0,070\text{mm}$$

$$v_{2\min} = D_{2\min} - d_{1\max} = 18,000 - 17,984 = 0,016\text{mm}$$

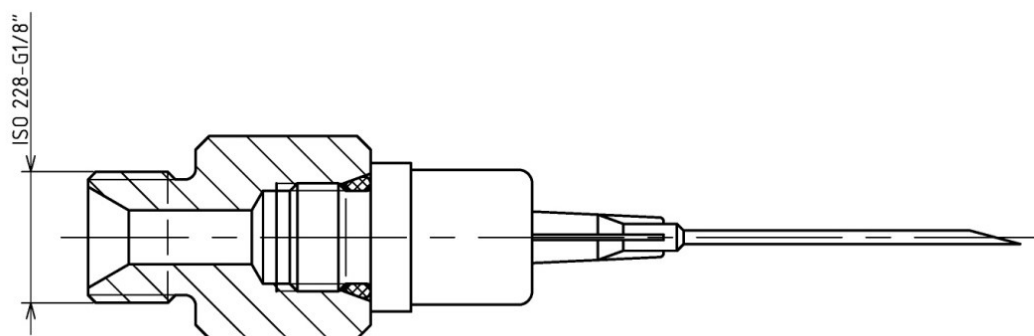
Guma na NBR báze, používaná na výrobu o-krúžkov sa vyznačuje tvrdosťou 76-85 IRHD.



Obr. 5-4 Extrúzia o-krúžku v závislosti na tlaku a vôli [30]

Z priloženého grafu vyplýva, že pri zvolenom uložení hrozí extrúzia o-krúžkov až od približne 19 MPa (za predpokladu maximálnej nožnej vôle a minimálnej tvrdosti krúžku) a pre zadaný tlak nie je preto nevyhnutné použitie oporných krúžkov.

## 5.2 Redukcia na ihlu



Obr. 5-5 Zostava plniacej ihly

Dostupné redukcie z Luer-lock na 1/8“ závit nie je možné použiť pri zvolenom spôsobe tesnenia. Konečný návrh obsahuje kupovanú redukciu z Luer-lock na metrický závit v spojení s redukciou vlastnej výroby z metrického závitú na 1/8“ závit.

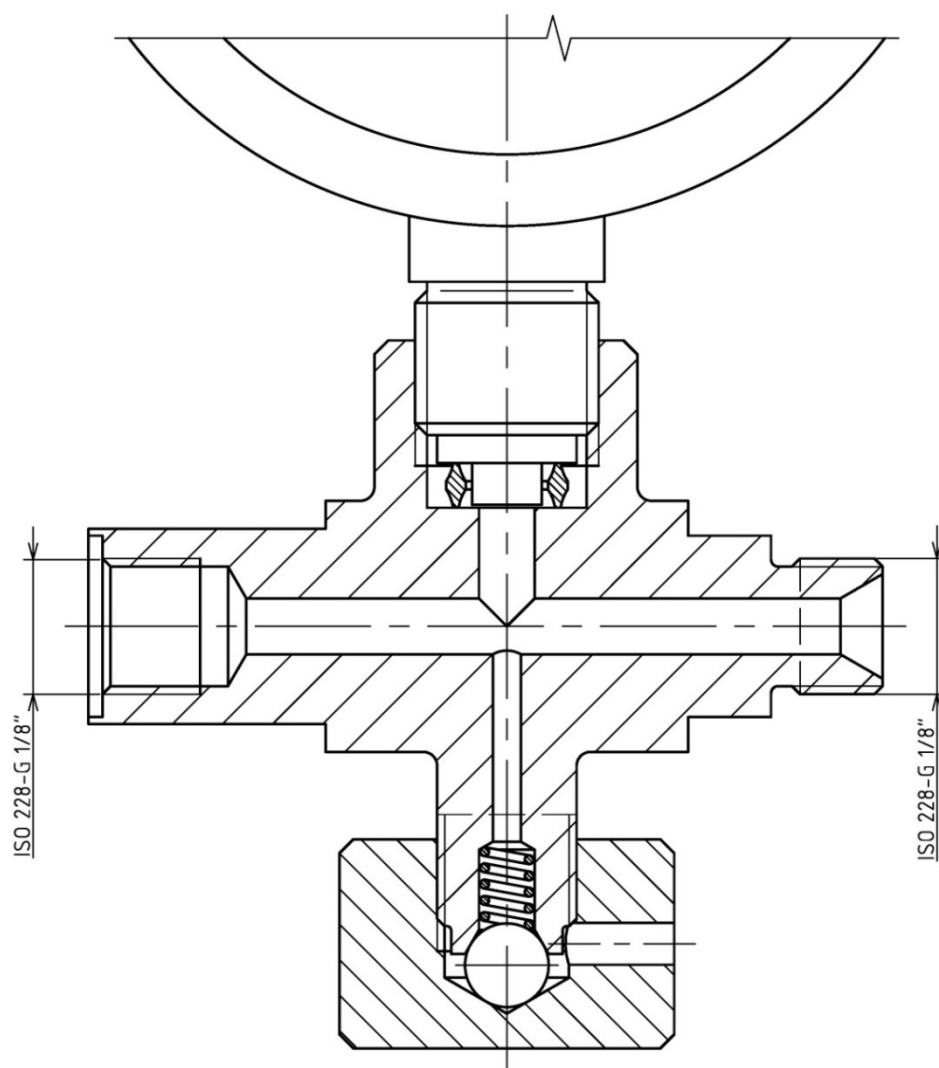
## 5.3 Hadica

Hľadanie pneumatickej hadice, ktorá by spĺňala kľúčové podmienky (pracovný tlak minimálne 3 MPa, zhodný vonkajší a vnútorný závit na oboch koncoch) nebolo úspešné, vo výslednom návrhu je hadica zostavená z kupovaných komponentov tak, aby spĺňala podmienky. Zvolený nátrubok s vnútorným závitom vyžadoval prídanie kužeľovej tesniacej plochy s vrcholovým uhlom 60° do vonkajšieho závitú spojky a redukcie (pri zachovaní možnosti utesnenia s plochým krúžkom o čelné plochy).

Tab. 5-1 Komponenty hadice [12]

komponent	norma	výrobca	objednávacie číslo	množstvo	hmotnosť [g]	maximálny pracovný tlak [MPa]
objímka	ISO 12151	ZEC	BP14R7	2 ks	10	-
lisovací nátrubok - samec	ISO 8343-6	VITILLO	MG0402	1 ks	20	41,5
lisovací nátrubok - samica	ISO 8343-6	VITILLO	FDG0402	1 ks	25	41,5
termoplastická hadica	ISO 3949	ZEC	VE730004	0,3 m		20,0

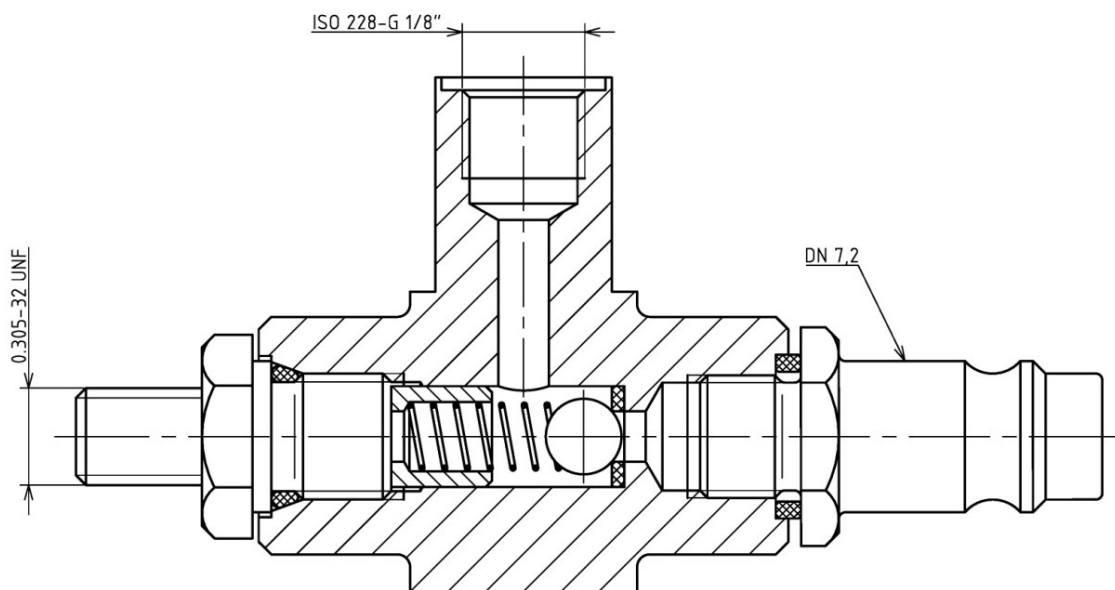
## 5.4 Medzičlen



Obr. 5-6 Medzičlen

Zvolený manometer Bosch-Rexroth s dvojitou stupnicou (bar/psi) má priemer 63 mm a merací rozsah do 4 MPa. Pripájacie rozmery a utesnenie sú vyhotovené podľa odporúčani výrobcu. Vypúšťací ventil používa pochrómovanú ložiskovú guľôčku s priemerom 6 mm. Telo je tvorené trojdíelnym zvarkom.

## 5.5 Prípojka



Obr. 5-7 Prípojka

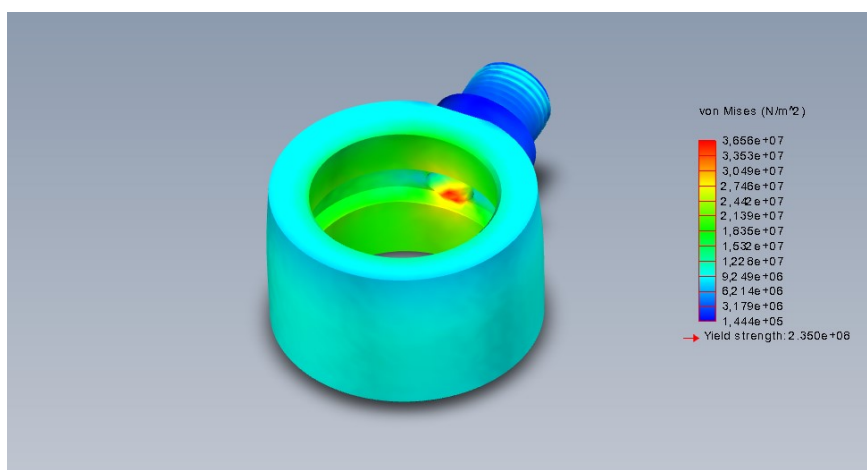
Guľôčka spätného ventilu dosadá na ploché gumové tesnenie, čo v porovnaní s kovovou dosadacou plochou kladie menšie nároky na presnosť opracovania. Zároveň vyžaduje menšiu prítlačnú silu pružiny, a tým pádom aj menší otvárací pretlak. Guľôčky použité v prípojke aj vypúšťacom ventilu sú totožné. Oproti koncepčnému návrhu sa zmenila forma vedenia, aby lepšie vyhovovalo zvolenej pružine.

### 5.5.1 Otvárací tlak spätného ventilu

Tlak potrebný na prekonanie prítlačnej sily pružiny je funkciou plochy prierezu v mieste tesnenia, tuhosti pružiny a miery jej stlačenia. Prítlačná sila môže byť v závislosti od polohy prípojky väčšia alebo menšia o tiažovú silu pôsobiacu na guľôčku.

$$\begin{aligned} p_o &= (F_p \pm F_g) / S_v = (k_p \cdot z + m_g \cdot g) / \pi \cdot r_v^2 = \\ &= (0,33 \cdot 4,28 \pm 9 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81) / \pi \cdot 0,002^2 = 111\,692,63 - 113\,097,81 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \approx \\ &\approx 0,11 \text{ MPa} \end{aligned}$$

## 5.6 Pevnostná analýza a kontrola bezpečnosti



Obr. 5-8 Napät'ová analýza tela spojky v programe SolidWorks pomocou doplnku SimulationXpress

Všetky navrhnuté diely namáhané tlakom boli podrobené napät'ovej analýze. Vnútorne plochy boli zaťažené pretlakom 6 MPa (dvojnásobok prevádzkového). Na základe výsledkov boli diely optimalizované s ohľadom na minimum materiálu (v prípadoch, kedy odobratie materiálu nekompromitovalo funkčnosť a/alebo zostaviteľnosť) a bol zvolený vhodný materiál na ich výrobu.

Tab. 5-2 Bezpečnosti jednotlivých komponentov

diel	maximálne $\sigma_{red}$	zvolený materiál	$k^*$
telo spojky	36,56 MPa	S235JR	6,43
matica spojky	44,34 MPa	E295	6,20
medzičlen	20,26MPa	S235JR	11,60
rozdvojka	25,31 MPa	S235JR	9,28
redukcia	26,24 MPa	E295	10,48

$$* k = R_e \cdot \sigma_{red}^{-1} [32]$$

## 6 DISKUSIA

Okrem zabezpečenia podkladu pre všetky nasledujúce kapitoly práce, spočíva prínos rešerše v unikátnej šírke záberu – kapitola v sebe spája poznatky o plynovej náplni tlmičov z viacerých zdrojov zameraných spravidla na jeden pohľad na danú problematiku.

Návrh sa od pôvodnej myšlienky zahrnúť všetky prvky adaptéra do jedného konštrukčného celku v skorej fáze odklonil v prospech modulárnej zostavy. Technologicky je adaptér navrhnutý s ohľadom na konvenčné metódy obrábania a spájania. Tvarovo zložené prvky by sa alternatívne dali vyrobiť pomocou CNC obrábania z jedného kusu polotovaru alebo z kovového prášku pomocou aditívnych výrobných metód. Predpokladom pre prispôbenie návrhu týmto moderným výrobným procesom je dôkladné preskúmanie miery využitia materiálu, únosnosti, dosiahnuteľnej presnosti, ako aj celkovej náročnosti na výrobu a nákladov na výrobu v priamom porovnaní s konvenčnými metódami.

Finálny konštrukčný návrh vo viacerých ohľadoch prekonáva nedostatky dostupných adaptérov. Vďaka trom rôznym pripájacím armatúram (autoventil, rýchlospojka a závit s vnútorným kužeľom) umožňuje plnenie tlmičov pomocou kompresoru, ručnej hustilky aj tlakovej nádoby. Ručné dotáhovanie a predĺžený driek bezstratovej spojky, jej oddelenie od zvyšku adaptéra hadicou a možnosť nahradiť ju v zostave ihlou dovoľuje adaptéru pracovať s tlmičmi opatrenými zátkou aj ľubovoľne situovaným autoventilom. Všetky vyrábané aj kupované komponenty s rezervou znesú pracovný tlak 3 MPa.

Prítomnosť manometra a možnosť udržiavať autoventil v priebehu plnenia otvorený pomocou pohyblivého stláčacieho kolíku umožňuje presné meranie plniaceho tlaku.

## 7 ZÁVER

Prvú časť bakalárskej práce tvorí ucelený prehľad súčasného stavu poznania v oblasti tlakovania tlmičov. Popisuje teoretické základy fungovania tlmičov, účel a metódy tlakovania pri výrobe aj údržbe, vlastnosti používaných plynov a v neposlednom rade prehľad vyrábaných plničiek a adaptérov pre rozdielne účely.

Na základe prvej časti boli vytýčené čiastkové ciele a formulované konkrétne požiadavky na koncepčný návrh. Bolo vykonané meranie za účelom vyhodnotenia tlakovej straty pre rôzne spôsoby plnenia a posúdenia základného plniaceho adaptéra. Koncepčný návrh bol vypracovaný v súlade so zisteniami z výskumu a experimentu. Po vypracovaní konkrétneho konštrukčného riešenia bola numericky overená bezpečnosť voči medznému stavu pružnosti a boli optimalizované nefunkčné rozmery. Výstupom je výkresová dokumentácia modulárneho plniaceho adaptéra.

Nad rámec práce by bolo prínosné rozšíriť prvú časť o ucelený popis faktorov ovplyvňujúcich mieru natlakovania tlmiča a podrobný postup voľby vhodného tlaku. Samotný návrh by sa mohol prispôbiť moderným výrobným metódam (menovite CNC obrábanie a aditívne metódy).

## 8 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. 300 psi Suspension Pump Kit Fork Shock Air Pump Nitrogen Needle Set Motorbike Accessories for ATV UTV Motorcycle Autocar Bike. *AliExpress.com* [online]. ©2010-2020 [cit. 2020-4-11]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/i/4000259633422.html>
2. 50MM SHOWA SHOCK BLADDER CAP – GREEN. *Teknik Motorsport* [online]. ©2020 [cit. 2020-4-10]. Dostupné z: <https://www.teknikmotorsport.com/50mm-showa-shock-bladder-cap-green>
3. AMAGAT, E. H. Compressibility of the gases oxygen, hydrogen, nitrogen and air, up to the pressure of 3,000 atmospheres. *Journal of the Franklin Institute*. Philadelphia: Elsevier. 1889, 128(3), 196-198. DOI: 10.1016/0016-0032(89)90216-0. ISSN 0016-0032.
4. BARLETT, Jeff S. Should You Use Nitrogen in Your Car Tires? *Consumer Reports* [online]. May 11, 2019 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://www.consumerreports.org/tire-buying-maintenance/should-you-use-nitrogen-in-car-tires/>
5. BENEDICT, Tyler. Suspension tech: What Is Cavitation? Why Is It Bad For Suspension Performance? *Bikerumor* [online]. July 21, 2017 [cit. 2020-5-17]. Dostupné z: <https://bikerumor.com/2017/07/21/suspension-tech-cavitation-bad-suspension-performance/>
6. Beto Shock Pump Mountain Bike MTB Bicycle Suspension Forks Shocks High Pressure. *The Dogs Wheels* [online]. ©2020 [cit. 2020-4-10]. Dostupné z: <https://www.thedogswheels.co.uk/products/beto-shock-pump-mtb-bicycle-bike-suspension-forks-shocks-high-pressure-1>
7. Carbon Dioxide - Thermophysical Properties. *Engineering ToolBox* [online]. 2018 [cit. 2020-4-11] Available at: [https://www.engineeringtoolbox.com/CO2-carbon-dioxide-properties-d\\_2017.html](https://www.engineeringtoolbox.com/CO2-carbon-dioxide-properties-d_2017.html)
8. CZOP Piotr, Jacek GNIŁKA. Reducing aeration and cavitation effect in shock absorbers using fluid-structure interaction simulation. *Computer Assisted Methods in Engineering and Science*. Warsaw: Polish Academy of Sciences, Institute of Fundamental Technological research. sep. 2017, 23(4), p. 171–189. ISSN 2299-3649.
9. DIXON, John C. *The shock absorber handbook*. Second edition. Chichester: John Wiley & Sons. 2007. xi. 415 s. ISBN 978-0-470-51020-9.
10. Fox Racing 2.0 Performance Series Reservoir Shocks. *RubiTrux* [online]. ©2020 [cit. 2020-4-11]. Dostupné z: <https://www.rubitru.com/fox-98524015-performance-series-reservoir-shocks.html>



11. G3-S SHOCK TYPES. *Race Tech* [online]. [cit. 2020-4-11]. Dostupné z: <https://racetech.com/page/title/G3S%20Shock%20Types>
12. *GMS.cz* [online]. Lanškroun: GMS velkoobchod s. r. o., ©2018 [cit. 2020-6-18]. Dostupné z: <https://www.gms.cz/>
13. How Car Dampers Are Made & What They Do! In: *Youtube* [online]. 27. 12. 2019 [cit. 2020-4-11]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=QfPOweJvWSs&t=21s>. Kanál používateľa Car Throttle.
14. How It's Made. s10 e2, *Fire Extinguisher, Doughnuts, Shock Absorbers, Banjos*. TV, Discovery Channel 31. 1. 2008.
15. Intercomp Racing Shock Pressure Gauges. *Summit Racing Equipment* [online]. ©2020 [cit. 2020-4-11]. Dostupné z: <https://www.summitracing.com/parts/icp-100675-a/media/video>
16. JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily 1: Podvozky*. 2. vydanie. Brno: Avid, spol s. r. o. 2009. 245 s. ISBN 978-80-871-4311-7.
17. King Shocks Charging Manifolds. *Summit Racing Equipment* [online]. ©2020 [cit. 2020-4-11]. Dostupné z: <https://www.summitracing.com/parts/kss-t1001-100>
18. KOREISOVÁ, Gabriela a Josef KOREIS. Vlastnosti hydraulického tlumiče vozidel. *Scientific papers of the University of Pardubice* [online]. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006, s. 27-40. ISSN 1211-6610.
19. KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD, 2006. *Technická diagnostika*. Praha: BEN. 406s. ISBN 80-7300-158-6.
20. Metal M5 M6 M8 dispensing fitting luer adapter for needle. Alibaba.com [online]. ©1999-2020 [cit. 2020-6-18]. Dostupné z: [https://www.alibaba.com/product-detail/Metal-M5-M6-M8-dispensing-fitting\\_60782721095.html?spm=a2700.details.deiletai6.1.6ca97c88SpY3Gf](https://www.alibaba.com/product-detail/Metal-M5-M6-M8-dispensing-fitting_60782721095.html?spm=a2700.details.deiletai6.1.6ca97c88SpY3Gf)
21. MORETTINI, Giulia et al. "Experimental diagnosis of cavitation for a hydraulic monotube shock absorber." *Diagnostyka*. Poland: Polish Society of Technical Diagnostics. 2016, 17(3), 75-80. ISSN: 1641-6414
22. MS200 - SHOCK ABSORBER GAS FILLING SYSTEM. *MSG equipment* [online]. [cit. 2020-4-10]. Dostupné z: <https://servicems.eu/for-diagnostics-of-shock-absorbers/shock-absorber-filling-system-ms200.html>
23. Nitrogen in your suspension. In: *Cyclinic* [online]. 2016 [cit. 2019-11-3]. Dostupné z: <https://cyclinic.com.au/blogs/suspension/nitrogen-in-your-suspension>
24. Nitrogen Needle Kit. *Motion Pro* [online]. ©2020 [cit. 2020-4-10]. Dostupné z: <https://www.motionpro.com/product/08-0075>

25. Nitrogen Shock Gauge & Filler. *Motion Pro* [online]. ©2020 [cit. 2020-4-10]. Dostupné z: <https://www.motionpro.com/product/08-0072>
26. Nitrogen: some basic facts, uses and onsite gas generation. *PeakGas* [online]. 30th January 2017 [cit. 2020-4-10]. Dostupé z: <https://www.peakgas.com/Articles-and-News/article/basic-nitrogen-facts-uses-and-onsite-gas-generation>
27. Nitrogen - Thermophysical Properties. *Engineering ToolBox* [online]. 2008 [cit. 2020-4-11] Available at: [https://www.engineeringtoolbox.com/nitrogen-d\\_1421.html](https://www.engineeringtoolbox.com/nitrogen-d_1421.html)
28. Nitrogen truths and myths. *Power Tank* [online]. ©2020 [cit. 2020-4-10]. Dostupné z: <https://powertank.com/pages/nitrogen-truths-and-myths>
29. OHLINS ROAD & TRACK TECHNICAL GUIDE. *3DM Motorsport* [online]. [cit. 2020-4-10]. Dostupné z: <http://info.3dmmotorsport.com/ohlins-road-and-track-technical-guide>
30. O-RINGS: Limits For Extrusion, *hitechseals.com* [online]. Edmonton, Hi-Tech Seals Inc., ©2003-2020 [cit. 2020-6-18]. Dostupné z: <https://www.hitechseals.com/products/O-Rings-imp-extrusion.asp>
31. Race Tech Pro Shock Nitrogen Gauge. *Sportbike Track Gear* [online]. ©2020 [cit. 2020-4-11]. Dostupné z: <https://www.sportbiketrackgear.com/race-tech-pro-shock-nitrogen-gauge/>
32. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed., 2010. Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTIUM. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-8- -214-2629-0.
33. Shock Nitrogen Needle Fill Tool Kit Shakeproof 350 PSI 2.5MPA Stainless Steel. *AliExpress.com* [online]. ©2010-2020 [cit. 2020-4-11]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/i/4000411052707.html>
34. WHAT IS VALVE CAVITATION? *SlurryFlo valve corp.* [online]. ©2020 [cit. 2020-4-10]. Dostupné z: <https://www.slurryflo.com/cavitation>

## 9 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN

CNC		Computer Numerical Control
Kč		Česká koruna
napr.		napríklad
príp.		prípadne
resp.		respektíve
t. j.		to jest
PTFE		polytetrafluóretylén (teflón)
$D_{1max}, D_{2max}$	[mm]	maximálny priemer diery
$D_{1min}, D_{2min}$	[mm]	minimálny priemer diery
$d_{1max}, d_{2max}$	[mm]	maximálny priemer hriadeľa
$d_{1min}, d_{2min}$	[mm]	minimálny priemer hriadeľa
$v_{1max}, v_{2max}$	[mm]	maximálna vôľa
$v_{1min}, v_{2min}$	[mm]	minimálna vôľa
$p_o$	[bar]	otvárací tlak
$F_p$	[N]	prítlačná sila
$F_g$	[N]	tiažová sila
$S_v$	[m <sup>2</sup> ]	plocha prierezu
$k_p$	[N·mm <sup>-1</sup> ]	tuhosť pružiny
$z$	[mm]	stlačenie pružiny
$m_g$	[kg]	hmotnosť
$g$	[m·s <sup>-2</sup> ]	tiažové zrýchlenie
$r_v$	[mm]	polomer
$\sigma_{red}$	[MPa]	redukované napätie
$k$	[-]	súčiniteľ bezpečnosti
$R_e$	[MPa]	medza klzu

## 10 ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV

Obr. 1-1	Tlakovanie expanznej komory tlmiča pomocou ihly [1].....	13
Obr. 2-1	Rôzne konštrukčné usporiadania automobilových/motocyklových tlmičov [11].....	15
Obr. 2-2	F-z diagram makety jednoplášťového tlmiča pri frekvencii zaťažovania 6 Hz a teplote 20 °C [22].....	17
Obr. 2-3	Mechanizmus kavitačného poškodzovania povrchu [34].....	17
Obr. 2-4	Miera kavitácie bez pretlaku pri frekvencii 6 Hz [22] .....	18
Obr. 2-5	Miera kavitácie pri pretlaku 0,2 MPa pri frekvencii 6 Hz [22] .....	18
Obr. 2-6	Fázový diagram CO <sub>2</sub> [7].....	20
Obr. 2-7	Fázový diagram N <sub>2</sub> [27] .....	20
Obr. 2-8	Plniaca stanica MSG MS 200 [22].....	21
Obr. 2-9	Expanzná nádoba s autoventilom [10].....	22
Obr. 2-10	Veko expanznej nádoby s gumovou zátkou [2].....	22
Obr. 2-11	Plnenie tlmiča značky Nitron pri výrobe [13] .....	23
Obr. 2-12	Adaptér King Shock [17].....	23
Obr. 2-13	Adaptér Intercomp [15].....	24
Obr. 2-14	Adaptér s ihlou od neznámeho výrobcu [33].....	24
Obr. 2-15	Postup plnenia tlmiča cez zátku [29].....	25
Obr. 2-16	Adaptér Motion Pro [25] .....	25
Obr. 2-17	Redukcia na ihlu Motion Pro [24] .....	26
Obr. 2-18	Adaptér Race Tech [31] .....	26
Obr. 2-19	Pumpička na tlmiče Beto [6].....	27
Obr. 4-1	Testovacia sústava .....	30
Obr. 4-2	Výstup z tlakových snímačov .....	31
Obr. 4-3	Výsledky merania.....	33
Obr. 4-4	Schéma zostavy.....	34
Obr. 4-5	Konceptný návrh spojky – varianta A.....	35
Obr. 4-6	Konceptný návrh spojky – varianta B.....	36

Obr. 4-7	Redukcia Luer-lock/metrický závit [20].....	37
Obr. 4-8	Koncepčný návrh medzičlena .....	37
Obr. 4-9	Koncepčný návrh prípojky .....	38
Obr. 5-1	Kompletne zostavený adaptér .....	39
Obr. 5-2	Tesnenie pomocou kuželovej plochy (vľavo) a plochého PTFE krúžku (vpravo) .....	39
Obr. 5-3	Bezstratová spojka .....	40
Obr. 5-4	Extrúzia o-krúžku v závislosti na tlaku a vôli [30].....	41
Obr. 5-5	Zostava plniacej ihly.....	42
Obr. 5-6	Medzičlen .....	43
Obr. 5-7	Prípojka .....	44
Obr. 5-8	Napät'ová analýza tela spojky v programe SolidWorks pomocou doplnku SimulationXpress .....	45

## 11 ZOZNAM TABULIEK

Tab. 4-1	Zaznamenané hodnoty [kPa] .....	32
Tab. 5-1	Komponenty hadice [12] .....	42
Tab. 5-2	Bezpečnosti jednotlivých komponentov .....	45

.

## 12 ZOZNAM PRÍLOH

Označenie	Názov	Typ dokumentu
193096/A	Návarok vonkajší	Výkres dielu zvarku (A4)
193096/B	Návarok vnútorný	Výkres dielu zvarku (A4)
193096/C	Spojka	Výkres dielu zvarku (A4)
193096/D	Medzičlen	Výkres dielu zvarku (A4)
193096/E	Rozdvojka	Výkres dielu zvarku (A4)
193096/01	Spojka	Výkres zvarku pre zváranie a obrábanie (A3)
193096/02	Spojka	Zoznam položiek (A4)
193096/03	Medzičlen	Výkres zvarku pre zváranie a obrábanie (A2)
193096/04	Medzičlen	Zoznam položiek (A4)
193096/05	Rozdvojka	Výkres zvarku pre zváranie a obrábanie (A2)
193096/06	Rozdvojka	Zoznam položiek (A4)
193096/07	Matica spojky	Výkres súčasti (A2)
193096/08	Stláčací kolík	Výkres súčasti (A4)
193096/09	Vrúbkované koliesko	Výkres súčasti (A4)
193096/10	Redukcia	Výkres súčasti (A3)
193096/11	Regulátor	Výkres súčasti (A4)
193096/12	Vedenie pružiny	Výkres súčasti (A4)
193096/13	Spojka	Výkres zostavy (A3)
193096/14	Ihla	Výkres zostavy (A3)
193096/15	Medzičlen	Výkres zostavy (A2)
193096/16	Prípojka	Výkres zostavy (A2)
193096/17	Adaptér	Výkres zostavy (A1)