

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Návrh a zhotovení výukového panelu pérování  
a tlumičů pérování**  
**Michal Bucek**

**Bakalářská práce**

**2010**

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Michal BUCEK  
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje  
Studijní obor: Dopravní prostředky-Silniční vozidla  
Název tématu: Návrh a zhotovení výukového panelu pérování a tlumičů pérování.  
Zadávací katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Úvod, význam výukových panelů Návrh koncepčního řešení výukového panelu Charakteristika pružících a tlumících prvků používaných u automobilů, výpočet Vývojové trendy výrobců pružících a tlumících prvků Popis výroby panelu Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

**František Vlk - Podvozky motorových vozidel Gscheidle a kol.- Příručka pro automechanika**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Miroslav Bodlák**

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **26. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2010**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 20. 5. 2010

Michal Bucek

Anotace:

Bakalářská práce „Návrh a zhotovení výukového panelu pérování a tlumičů pérování“ je úlohou, jejímž smyslem je výroba názorné učební pomůcky. Praktická část této práce zahrnuje obstarání odpovídajících učebně zajímavých součástí a jejich vhodná instalace na výukový panel. Dále pak obsahuje teoretický popis jednotlivých vystavovaných komponent a modelový příklad vhodný pro cvičení na dopravních fakultách.

Klíčová slova: pérování, tlumiče, panel, podvozky

Thesis "Design and manufacture of educational panel absorbers and shock absorbers" is a task whose purpose is the production of visual teaching aids. The practical part of this work involves the provision of appropriate training of interesting elements and their installation in appropriate educational panel. Furthermore, it contains a theoretical description of the individual components exhibited a model example suitable for use in transportation faculties.

Key words: absorbers, dampers, shock absorbers, panel, chassis

## Poděkování

Chtěl bych poděkovat společnostem Decom system, HBH Camion Servis, France Car, Autotechnik J.M., Dopravní podnik města Pardubice a Prokop za výbornou spolupráci a lidský přístup při obstarávání jednotlivých součástí výukového panelu, jakož i jejich obrábění. Dále bych rád poděkoval své rodině za psychickou i materiální podporu, bez níž by bylo vytváření této práce mnohem obtížnější.

## Obsah:

<b>1</b>	<b>ÚVOD, VÝZNAM VÝUKOVÝCH PANELŮ.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>NÁVRH KONCEPČNÍHO ŘEŠENÍ VÝUKOVÉHO PANELU .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>CHARAKTERISTIKA PRUŽÍCÍCH A TLUMÍCÍCH PRVKŮ POUŽÍVANÝCH U AUTOMOBILŮ, VÝPOČET .....</b>	<b>10</b>
3.1	PRUŽÍCÍ PRVKY OBECNĚ.....	10
3.2	DĚLENÍ PRUŽÍCÍCH PRVKŮ A JEJICH CHARAKTERISTIKY .....	11
3.2.1	<i>Listová pera.....</i>	<i>11</i>
3.2.2	<i>Vinuté pružiny .....</i>	<i>14</i>
3.2.3	<i>Zkrutné tyče.....</i>	<i>16</i>
3.2.4	<i>Vzduchové pérování .....</i>	<i>18</i>
3.2.5	<i>Hydropneumatické pérování .....</i>	<i>21</i>
3.2.6	<i>Pryžokapalinové odpružení.....</i>	<i>23</i>
3.2.7	<i>Přídavné nekovové odpružení .....</i>	<i>24</i>
3.3	MĚŘENÍ PRUŽIN .....	25
3.4	TLUMIČE PÉROVÁNÍ OBECNĚ .....	27
3.4.1	<i>Pracovní písky tlumičů.....</i>	<i>28</i>
3.5	DRUHY TLUMIČŮ PÉROVÁNÍ A JEJICH VLASTNOSTI .....	30
3.5.1	<i>Kapalinové teleskopické tlumiče .....</i>	<i>30</i>
3.5.2	<i>Plyno-kapalinové teleskopické tlumiče.....</i>	<i>31</i>
3.5.3	<i>Elektronické tlumiče.....</i>	<i>33</i>
3.6	<i>Možnosti přizpůsobení tlumení.....</i>	<i>37</i>
3.7	MĚŘENÍ TLUMIČŮ .....	38
<b>4</b>	<b>VÝPOČET DEFORMACE VINUTÉ PRUŽINY .....</b>	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>VÝVOJOVÉ TRENDY VÝROBCŮ PRUŽÍCÍCH A TLUMÍCÍCH PRVKŮ .....</b>	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>POPIS VÝROBY PANELU.....</b>	<b>43</b>
6.1	OPRACOVÁNÍ A INSTALACE TLUMIČŮ PÉROVÁNÍ.....	43
6.2	OPRACOVÁNÍ A INSTALACE PRUŽÍCÍCH PRVKŮ .....	44
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>46</b>

# 1 Úvod, význam výukových panelů

Výukový panel, který vytvářím, bude sloužit studentům a zároveň pedagogům při výuce konstrukčních prvků podvozků motorových vozidel. Studentům budou jednotlivé instalované prvky sloužit k lepší představě o vnitřním složení popisovaných součástí a tím i k rychlejšímu a snazšímu pochopení funkce příslušných tlumičů. Pro vyučující pak představují pomůcku, na které lze činnost daných součástí snadno vysvětlit. Některé z prvků, o kterých budu mluvit v této bakalářské práci, bude možné rovnou konfrontovat s vystavenými součástkami.

Panel je kompaktní a dá se snadno umístit do jakékoli místnosti. Může tak být v sousedství s ostatními panely a jedna místnost tak může obsahovat velice názorné příklady mnoha různých prvků z celého spektra součástí silničního vozidla.

Výhody výukových panelů:

- Kompaktnost
- Názornost
- Snadná skladovatelnost
- Cílenost

Jako poslední výhodu těchto panelů jsem uvedl i cílenost. Sám jsem během studia absolvoval dva semestry předmětu Konstrukce vozidel I a II. Víím tedy, že jednotlivá cvičení se vždy zaměřují na určitý okruh znalostí součástí silničních vozidel. Právě proto je dobré mít podobný panel, který soustřeďuje jednotlivé prvky právě probírané látky na jednom místě. Takováto pomůcka pak může nejen vyučujícímu, ale i studentům ušetřit čas i energii.



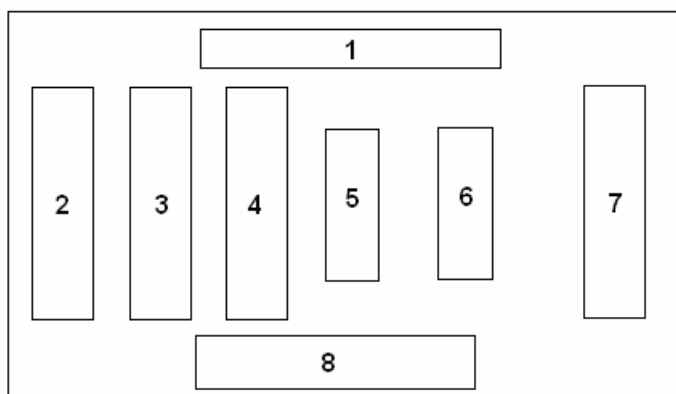
## 2 Návrh koncepčního řešení výukového panelu

Panel, který budu v této práci vytvářet, bude řešen jako deska, na které se budu snažit vystavit součástky s co největším spektrem technických řešení. U prvků, které mohou nést více řešení adaptability, jako například vinutá pružina, budu vybírat ty, které jsou svým tvarem a technickým provedením co nejvíce vypovídající.

Budu se snažit vybírat prvky odpovídající oběma kategoriím vybraného tématu. Na panelu by měly svou kategorii zastupovat jak součásti pružících komponent, tak i tlumiče pérování. Pro každou z těchto skupin také platí snaha o co nejširší výběr z jejích prvků.

V obou případech bude nezbytné dané součástky upravit tak, aby mohly být umístěny na desku a snadno k ní doléhaly. U tlumičů bude potřeba odřezat polovinu podkladu pro uložení vinutých pružin. U listových per budu muset odříznout jen ty části, které plní při jejich fungování konkrétní roli. Stejná manipulace se bude týkat i ostatních druhů pérování.

Některé prvky, o kterých se při vytváření této práce budu zmiňovat, obsahují více vrstev a obvykle platí, že čím skrytější je součástka, tím důležitější při plnění funkce hraje roli. Typickým příkladem jsou dvouplášťové tlumiče. Zde se pokusím opracovat vnější plášť tak, abych nepoškodil vnitřní strukturu a zároveň aby bylo dostatečně vidět jejich vnitřní uspořádání.



Obr. 1 Návrh prostorového využití panelu

Na obrázku 1 je předpokládané rozložení prvků:

- 1 – Nadpis
- 2, 3, 4 – Tlumiče pérování
- 5 – vinutá pružina
- 6 – vzduchové pérování
- 7 – hydro-pneumatické pérování
- 8 – listové pero

### **3 Charakteristika pružících a tlumících prvků používaných u automobilů, výpočet**

#### **3.1 Pružící prvky obecně**

Účelem pružících prvků je umožnit změnu vzdálenosti mezi odpruženými a neodpruženými hmotami. Zajistit možnost vertikálního pohybu náprav, aniž by se tento pohyb přenášel na karoserii. Neodpružené hmoty při přejezdění přes překážky vytváří kmitavý pohyb, zatímco u odpružených hmot je tento svislý pohyb ovlivněn právě pružícím efektem daného prvku. Přenos těch nejjemnějších nerovností na vozovce je rušen již samotným kolem. To tak samo o sobě mimo jiné funguje jako minimální vzduchové odpérování.

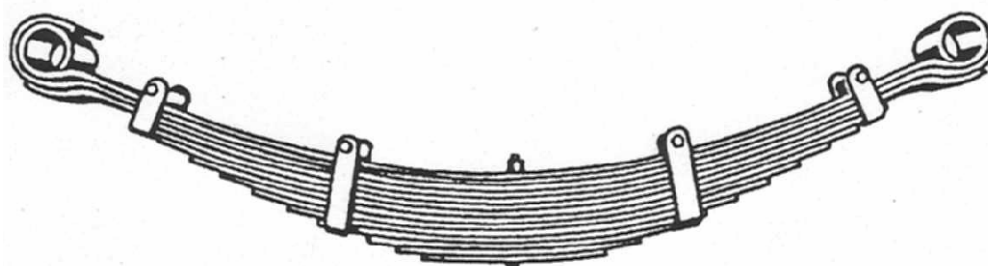
Pérováním je zajištěn dostatečný komfort cestujících, ochrana nákladu a při současných konstrukčních rychlostech především bezpečnost. Po přejetí kola po nerovnosti a stlačení pružícího elementu je kolo opět přitlačeno k zemi a tím je zajištěn potřebný kontakt s vozovkou. Ten je důležitý z hlediska přenosu obvodových a bočních sil. Síla vyvíjená na vozovku způsobuje potřebnou adhezi a pomáhá přenášet jak trakční síly (slouží k akceleraci vozidla a udržování stálé rychlosti), tak i boční síly pro zatáčení automobilu. V neposlední řadě umožňuje přenášet brzdě síly.

Důležitou vlastností pružin je jejich progresivita. Automobil může být v provozu s různým zatížením a tím se i mění hmotnost, kterou je třeba odpérovat. Při malé hmotnosti je kladen požadavek na menší pružící sílu, neboť jsou pružiny zatěžovány menší tíhou. Zároveň musí být kladena odpovídající pružící síla i při velkých hmotnostech. U jednotlivých pružin je tato vlastnost řešena různě.

## 3.2 Dělení pružících prvků a jejich charakteristiky

### 3.2.1 Listová pera

Jednou z možností řešení odpružení jsou listová pera. Jejich funkce je založena na principu prohýbání kovových plátů. Dva konce vrchních plátů jsou v kontaktu s odpérovanou částí vozidla a prostřední část je pomocí třmenů uchycena k nápravě. Vzhledem k tomu, že působící svislé síly nepůsobí na celou část pružiny stejně a ohybový moment je největší ve střední části pružiny, skládá se listové pero z několika listů různé délky a nejvíce vrstev je právě uprostřed. Tím je dosaženo plynulé rozložení napětí a sníženo riziko trvalé deformace listů. Při propérování se o sebe jednotlivé listy třou a tím dochází k částečnému samotlumícímu efektu, který je zde výhodou. U lehčích automobilů lze použít i pero obsahující pouze jeden list. V tomto případě je potřeba, aby mělo pero proměnlivou tloušťku. Tlustší vrstva materiálu způsobí při větším působícím ohybovém momentu stejné mechanické napětí a výsledek je podobný jako u skládaných listových per. Jednou z výhod listových per je možnost přenášení podélných a částečně i příčných sil mezi nápravou a odpruženými částmi vozu..



Obr. 2 Listové pero [1]

Vzhledem ke svým vlastnostem se listové pružiny využívají především u nákladních a u terénních vozidel. V případě běžných silničních osobních vozidel se setkáváme převážně s pružinami vinutými.

Jednotlivé listy jsou k sobě ve střední části přinýtovány. Aby se listy nevychylovaly z podélného směru, jsou na několika místech sepnuty ocelovými sponami. Ty mohou být řešeny tak, že jsou přinýtovány ke spodnímu listu a vrchní

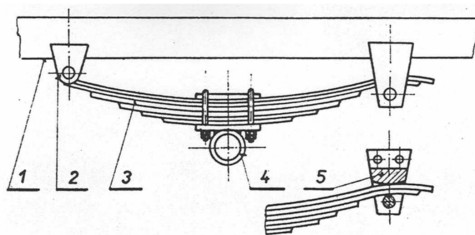
konce spon jsou ohnuty dovnitř. Další možností je použití rozpěrné trubky, kterou prochází šroub stahující třmen.

### Způsoby uložení listových per:

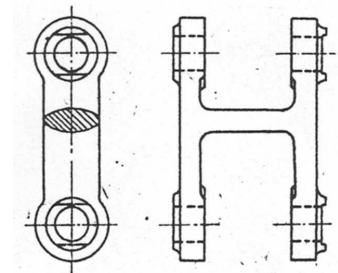
Při prohýbání per se mění jejich půdorysná délka. Z toho důvodu je na jednom konci potřeba zajistit možnost podélného pohybu. Na jedné straně je použit čep, na němž dochází k rotačnímu pohybu. Druhá strana listového pera pak může mít následující uchycení:

Kluzný závěs – Listové pero se volně pohybuje („klouže“) po nízkoadhezním podkladu. Zespodu je zajištěno čepem.

Výkyvný závěs – Zde je použit závěs, který je na jednom konci výkyvně připojen k rámu vozidla a na druhém k listovému peru. Při prohýbání pera se tento závěs vykyvuje a umožňuje tak peru měnit svou půdorysnou délku. Může být konstruován jako čtyřoký, tříoký, břitový, páskový, nebo třmenový.



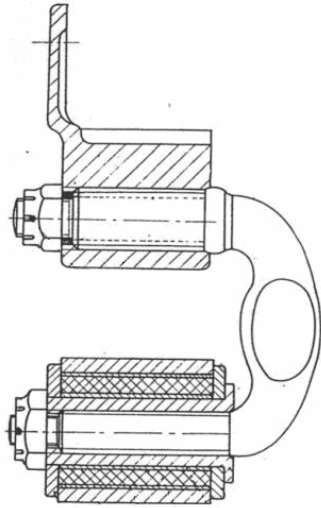
Obr. 3 Kluzná opěra [1]



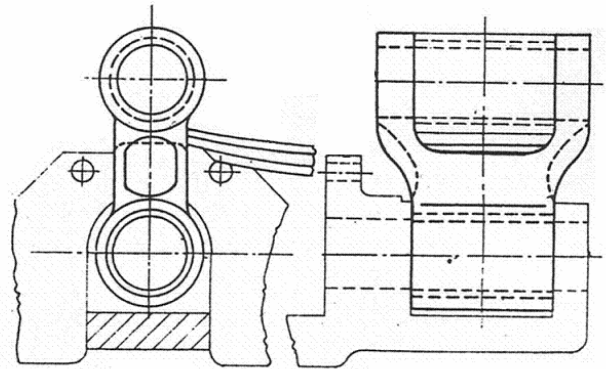
Obr.4 Čtyřoký závěs [1]

Na obrázku 2 je naznačeno řešení s kluznou opěrou:

- |                  |                                  |                  |
|------------------|----------------------------------|------------------|
| 1 – rám vozidla  | 2 – čep pro rotační uložení pera |                  |
| 3 – listové pero | 4 – náprava                      | 5 – kluzná opěra |



Obr. 5 Třmenový závěs [1]



Obr. 6 Tříoký závěs [1]

### Dělení progresivity:

- a) stupňovitá                      b) plynulá                      c) kombinovaná

Hlavními způsoby, jak dosahovat progresivity je přídavný list, resp. přídavné listové pero, nebo změna činné délky listového pera. V obou případech lze toto řešení provést tak, aby se progresivita měnila stupňovitě, nebo plynule.



Obr.7 Porovnání řešení progresivity pomocí přídavného listového pera (stupňovitě) a přídavného listu s plynulou změnou činné délky (kombinovaná progresivita) [1]



Obr. 8 Porovnání řešení progresivity stupňovitou změnou činné délky listového pera a plynulou změnou činné délky listového pera [1],

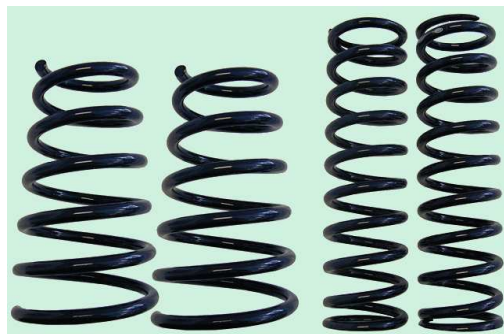
V okách, která slouží k zavěšení pera, je obvykle pryžová, nebo polyuretanová podložka. Ta slouží k částečnému dotlumení rázů vznikajících při vibracích listového

pera. Takováto vložka je dobře vidět na závěsném oku, vystaveném na výukovém panelu.

### 3.2.2 Vinuté pružiny

Další variantou kovových pružin je vinutá pružina. Využívá se nejčastěji u osobních vozů, u motocyklů, nebo u předních náprav užitkových vozidel. Jejím charakteristickým rysem je lineární průběh odporové síly. Vinuté pružiny nevyžadují žádnou údržbu a dají se snadno upevnit. Navíc může být uvnitř pružiny uchycen tlumič pérování. Drát vinuté pružiny je namáhán především na krut.

Při provozu by nemělo dojít k situaci, kdy se jednotlivé závity navzájem dotýkají. Je tedy třeba při výběru počítat s hmotností vozidla, jeho přípustným zatížením a s terénem, ve kterém se bude vozidlo pohybovat. S ohledem na tyto provozní předpoklady vybíráme takový průměr materiálu a takové stoupání, aby byla zajištěna dostatečná měkkost pro pružení a zároveň nedocházelo ke stýkání jednotlivých závitů.



Obr. 9 Vinuté pružiny [6]

Aby při stlačování, resp. natahování pružin nedocházelo k nežádoucím radiálním deformacím, je třeba upravit oba konce tak, že se osová síla přenáší na větší plochu závitu (nejméně 270°). Díky tomu je na koncích pružiny stoupání mírnější než ve většině činné délky. Zároveň se tyto konce obvykle zbrousí a tím je docílen rovnoměrný axiální styk.

Výhody vinutých spočívají v jejich lepší schopnosti pohlcovat kinetickou energii, jsou lehčí, mají měkčí pérování a nevyžadují údržbu.

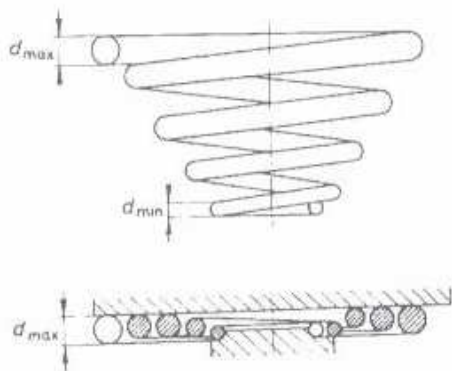
Nevýhodou je jejich lineární pružící charakteristika, neschopnost přenášet podélné, ani boční síly a také vyžadují účinnější tlumiče pérování.

Progresivity je zde opět dosahováno několika způsoby:

### a) proměnlivým stoupáním

Na koncích pružiny je stoupání velice mírné a směrem ke středu se zvyšuje. Tím je zajištěno, že při nižším zatížení budou pracovat především okraje pera, zatímco střední část bude propérována méně. Je to z toho důvodu, že čím vyšší je v dané části stoupání, tím kratší je vinutý drát spojující oba konce myšlené části pružiny. Ohybový moment se tak rozloží na menší délku vinutí a celkové stlačení je tedy nižší. Je-li vozidlo zatíženo větším nákladem, krajní části pružiny zůstávají stlačeny a právě střední část se stává aktivní, neboť je na ni vyvíjena větší síla při přejezdech přes nerovnosti. Změna stoupání je vidět na obrázku 11.

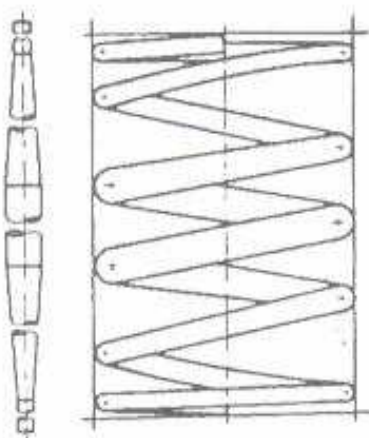
### b) proměnlivým průměrem závitu pružiny



Obr. 10 proměnlivý průměr vinutí pružiny [1]

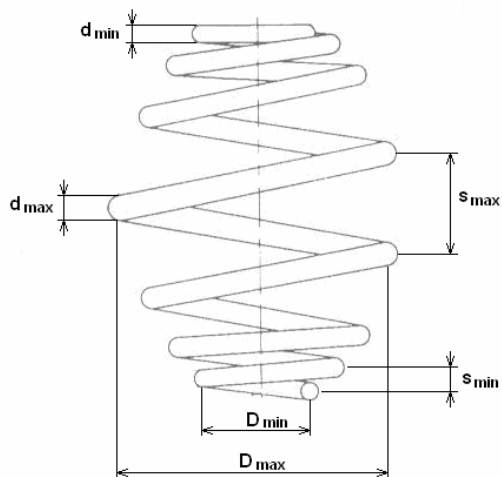
V předchozím odstavci jsem se zmiňoval o důležitosti délky drátu, na které je rozložen krouticí moment. Tu lze měnit také rozdílným průměrem, na kterém je pružina navinuta. Opět zde platí, že uprostřed pružiny je průměr větší a směrem k okrajům (v axiálním směru) se zmenšuje. Výsledek má podobný účinek jako u proměnlivého stoupání. Tato forma zajištění progresivity má ještě jednu výhodu: umožňuje pružině větší stlačení, neboť se jednotlivé závity mohou navzájem překrývat.

### c) proměnlivým průměrem drátu



Obr. 11 Proměnlivý průměr drátu [1]

Třetí možností, která bývá obvykle v kombinaci s předchozími, je změna průměru vinutého drátu. Při snížení takového průměru se rapidně snižuje kvadratický moment setrvačnosti (viz vzorec 1.1 níže) a úhel, po který se drát ohýbá, je mnohem menší. Stále platí, že čím je část drátu silnější, tím víc se zapojuje do pro pružení při vyšším zatížení.

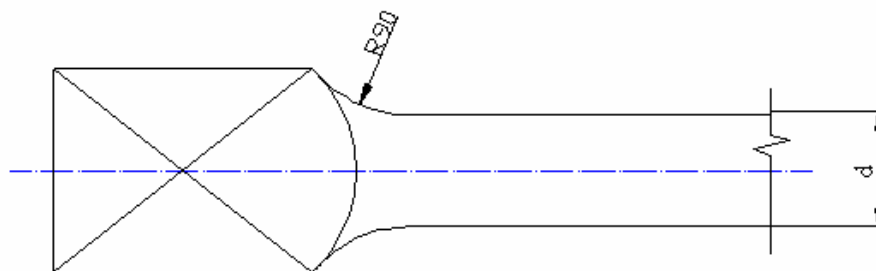


Obr. 12 Vinutá pružina s proměnlivým stoupáním, proměnlivým průměrem drátu i proměnlivým průměrem vinutí [1]

Na obrázku 12 je znázorněno použití všech tří druhů zajištění progresivity. V tomto případě je změna parametrů pružiny podle axiálního středu symetrická. Pružina má tedy soudečkový tvar. V praxi se však využívají i kuželovité tvary, u kterých se parametry mění po celé délce pružiny stejným smyslem. Rozměry  $d_{\max}$  a  $d_{\min}$  zde upozorňují na změnu průměru drátu.  $D_{\max}$ ,  $D_{\min}$  rozdílný průměr vinutí a  $s_{\max}$  a  $s_{\min}$  proměnlivé stoupání.

### 3.2.3 Zkrutné tyče

Propérování je rovněž možno zajistit pomocí tzv. zkrutných tyčí. Jedná se o tyče vyrobené z oceli, které se díky svému modulu pružnosti v krotu natáčejí o určitý úhel a se vzrůstajícím úhlem natočení kladou vyšší odpor proti pohybu. Krajiní část takové tyče se nazývá hlava a má takový tvar, aby mohly přenášet kroutící moment.



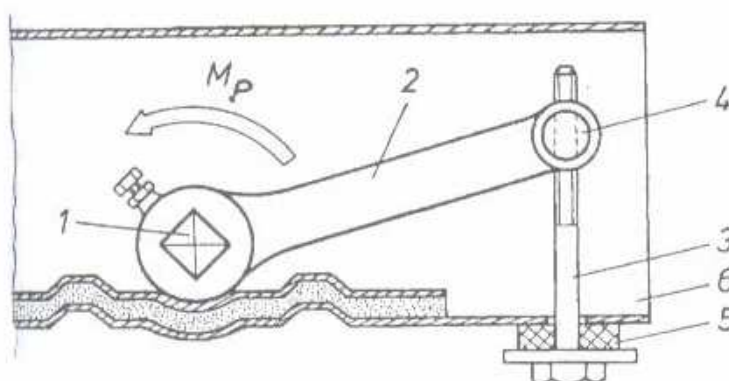
Obr. 13 Zkrutná tyč



Hlava zkrutné tyče je buď s kruhovým profilem drážkovaná, nebo má profil ve tvaru čtverce, obdélníku, případně šestiúhelníku. Střední část je s kruhovým profilem. Ten je ideální pro rozložení smykového napětí při namáhání tělesa v krutu. Vzhledem k tomu, že by se při přechodu z menšího středního průměru k širším okrajům mohly vytvářet nežádoucí koncentrace napětí vedoucí k nadměrnému zatěžování, je tento přechod řešen co nejplynuleji. Zkrutné tyče mohou být na vozidle umístěny buď podélně, nebo příčně.

Jedna strana tyče je připevněna k rámu (karoserii) vozidla a druhá je přes výkyvné rameno upevněna ke kolu. Jak se kolo vertikálně pohybuje, naklápí rameno a vytváří na tyči kroutící moment. Z hlediska namáhání a tím i životnosti je důležité, aby bylo u stojícího vozidla napětí v tyči co nejmenší.

Výhodou torzních tyčí oproti ostatním kovovým odpružením je to, že se takovéto předpětí dá regulovat. V případě zatížení auta větším nákladem lze mechanicky nastavit světlou výšku vozidla tím, že se utáhne seřizovací šroub. U některých vozů lze tuto regulaci provádět i za pomoci elektrického servomotoru. Světla výška se tak dá regulovat mnohem pohotověji a může tak lépe reagovat na jízdní podmínky.



Obr. 14 Upevnění zkrutné tyče pomocí seřizovacího šroubu [1]

Na obrázku 14 je zobrazeno uložení a způsob, jakým se nastavuje předpětí tyče. Na pozici 1 je zkrutná tyč upevněná do páky 2. Úhel natočení páky je takový, aby při standardním zatížení vozidla bylo napětí v tyči co nejmenší. Toto natočení

páky se reguluje seřizovacím šroubem 3. Jeho rotací se posouvá otočná matice 4. Číslo 5 je izolační podložka, přes kterou je seřizovací šroub upevněn k rámu 6.

Torzní tyče jsou namáhány především na krut a právě na tento druh namáhání jsou dimenzovány. U větších vozidel se však můžeme setkat se skládanými torzními tyčemi. V těchto případech jsou spolu spojeny dvě, nebo čtyři tyče a vzniká v nich i mírný ohyb.

$$\varphi = \frac{M_k \cdot l}{G \cdot I_k} [\text{rad}]$$

$M_k$  = kroutící moment [Nmm]

$l$  = délka tyče [mm]

$G$  = Youngův modul pružnosti v krutu [MPa]

$I_k$  = kvadratický moment setrvačnosti [mm<sup>4</sup>]

$\varphi$  = úhel zkroucení [rad]

### Vzorec 1 Úhel deformace zkrutné tyče

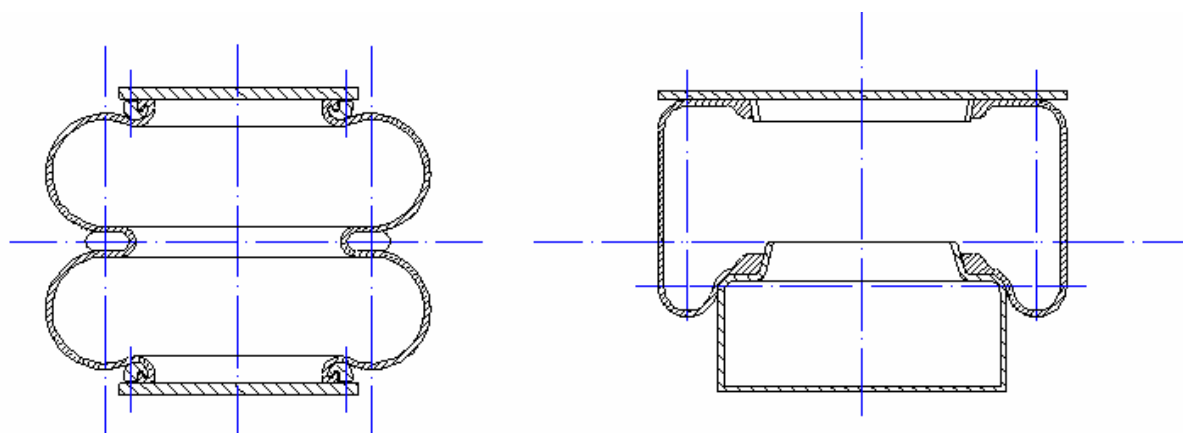
Vzorcem 1 je popsán vztah pro úhel natočení tyče při zatěžování momentem  $M_k$ . Vzhledem k tomu, že kvadratický moment setrvačnosti v krutu ( $I_k$ ) je přímo úměrný čtvrté mocnině průřezu, je zřejmé, že právě průřez torzní tyče je nejdůležitější při výběru pro jednotlivá vozidla.

Výhodou zkrutných tyčí je nenáročnost na údržbu, uložení, které nezabírá příliš prostoru a možnost snadného seřízení. Nevýhodou je, že se u takového řešení jen velmi těžko zajišťuje progresivita.

### 3.2.4 Vzduchové pérování

Kromě deformace pevných prvků lze pro pružící efekt využít i stlačitelnosti plynů. Velikou výhodou takového druhu pérování je možnost regulace množství vzduchu a tím i přizpůsobování světlé výšky vozidla při různých zatíženích. Kromě proměnlivého množství se může využít i technologie, kde pod pracovní prostor se stlačovaným plynem přivádíme kapalinu a množství plynu zůstává stejné.

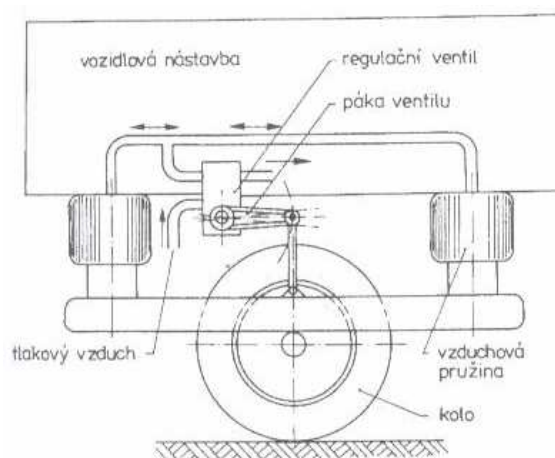
Vzduchová odpružení nalezneme především v dopravních prostředcích s často se měnícím zatížením. Typickým příkladem jsou autobusy.



Obr. 15 – Vlnovcová a vaková pružina

Látka použitá pro takovouto pružinu není jen pouhá pryž. Uvnitř je vysokopevnostní tkanina procházející celou plochou a na horním i dolním konci jsou dosedací patky s ocelovými lanky. Ta slouží ke zpevnění nejvíc namáhaných částí.

Jak již bylo řečeno, u vzduchových pružin lze množství vzduchu a tím i tlak plynule regulovat. Taková regulace probíhá bez zásahu řidiče a může být řešena například regulačním ventilem. Páka ventilu je na jednom konci připojena k odpružené části vozidla a druhým koncem ovládá regulační ventil. V případě, že dojde k svislému zatížení, sníží se světlá výška vozu, páka se pootočí směrem dolů a regulační ventil propustí do pružin určité množství vzduchu ze zásobníku tlaku. Tímto plněním se snížená světlá výška vozu opět zvyšuje až do té chvíle, kdy je páka regulačního ventilu v původní poloze. Po odlehčení vozidla se páka vychyluje na opačnou stranu a umožňuje odpouštění vzduchu.



Obr. 16 Uspořádání regulačního ventilu u vzduchového pérování s úroňovou regulací [1]

Takto popsaná mechanická regulace je dnes nahrazována elektronickou. Světla výška je snímána potenciometrem a jeho změna napětí je přenášena k řídicí jednotce. Ta pak vydává pokyn elektromagnetickému ventilu k dohuštění, případně odpuštění pružin. Kromě autobusů a užitkových vozidel využívají vzduchové pérování i některé osobní vozy. Například pružicí systém AIRMATIC firmy Mercedes nastavuje světlu výšku dle jízdnic požadavků. Při rychlosti nad 140 km/h jí automaticky sníží o 15 mm. Na původní světlu výšku nastaví vozidlo až při dobrzdění na 70 km/h. Lze tak dosáhnout lepšího aerodynamického odporu a zvýšit tak jízdnic vlastnosti i spotřebu paliva.



*Obr.17 Vzduchové pérování Airmatic [9]*

V současnosti se prodávají i vzduchové vaky, které lze dodatečně nainstalovat do automobilu. Vkládají se do vinutých pružin, jsou nahuštěny na tlak 0,6 – 2,0 barů a mají za cíl zlepšit jízdnic podmínky při rozdílných zatíženích se zachovanými vlastnostmi vinutých pružin. Dají se bohužel vkládat jen na zadní nápravy, kde je tlumič umístěn mimo pružinu.

Výhodami takovýchto vaků je podle výrobce prodloužení životnosti tlumičů a vinutých pružin, možnost manuální regulace světlu výšky podvozku a zlepšení stability automobilu.

Nevýhodou je možnost použití pouze u těch vozidel, kde je tlumič pérování veden mimo pružinu.



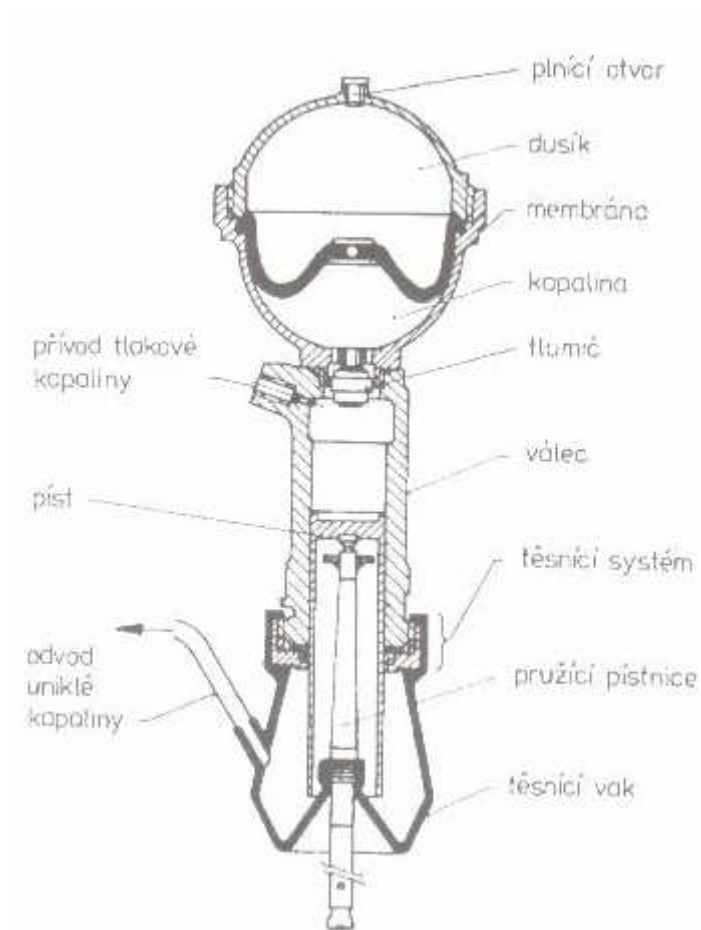
Obr. 18 Příkladné vzduchové vaky Air Spring [8]

### 3.2.5 Hydropneumatické pérování

Jak už jsem se zmínil, regulace nemusí být řízena pouze přívodem vzduchu. Průkopníkem v používání hydropneumatického odpružení je automobilka Citroën. Ta již řadu let využívá tyto pružiny a pro některé její automobily je charakteristická schopnost snižování světlé výšky při parkování až na minimum.

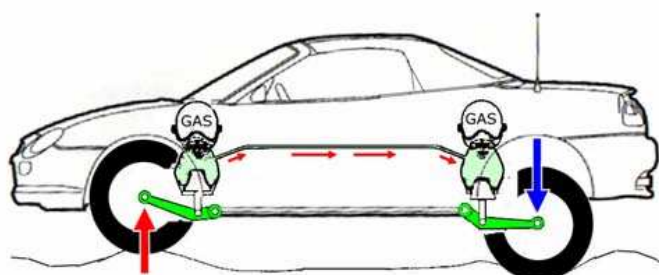
Pružící element v tomto systému představuje vrchní část koule, která je naplněna dusíkem. Tento prostor je umístěn v ocelovém kulovém krytu a pohybem pryžové membrány zmenšuje a zvětšuje svůj objem. Ve spodní části koule je olej, který přenáší pohyb membrány na píst a ten pak na výkyvné rameno kol, i naopak.

Velkou výhodou hydropneumatického odpružení je možnost využití vlastního tlumení. Mezi pístem a olejovou částí koule jsou umístěny škrťací ventily. Jsou zde otvory pro průchod oleje směrem z válce (když se pružina stlačuje) a naopak do válce, dochází-li k rozpínání plynu. Tyto otvory jsou vždy zakryty pružnými kovovými kotouči, a to vždy na té straně, kde olej opouští ventil. Tím, že je u každého ventilu pružný kotouč na opačné straně, je zajištěno, že každý funguje při jiné fázi pružícího cyklu. Podobně jako u klasických tlumičů je i zde jeden ventil vysokotlaký a jeden nízkotlaký. Ten, kterým prochází kapalina při rozpínání pružiny, využívá tužší bránící kotouč a při navracení kola do původní polohy je tedy pružina tlumena intenzivněji. Další popis tohoto systému uvedu při popisu samotných tlumičů.



Obr. 19 Hydro-pneumatická pružící jednotka Citroën [1]

Řídící jednotka sbírá například takové údaje, jako je úhel natočení volantu, akcelerace, brzdění nebo zdvih kol. Tyto údaje jsou vyhodnocovány a na základě nich je ovlivňováno množství oleje, tedy světlá výška.



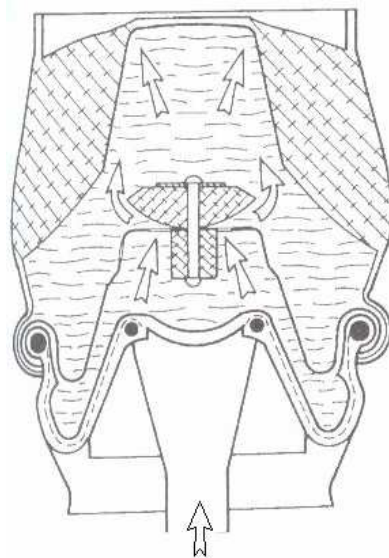
Obr. 20 Přenos kapaliny mezi jednotkami Hydragas [11]

Další výhodou tohoto druhu pérování je možnost zajištění stálé vodorovné polohy vozidla i při přejíždění přes přiměřené nerovnosti. Olejové komory jednotlivých pružících jednotek jsou mezi sebou vzájemně propojeny propojovacím potrubím.

Je-li vlivem nerovnosti na vozovce stlačena pouze jedna z náprav (například přední), přenáší se kapalina na druhou nápravu. Vzhledem ke zvýšení množství kapaliny tato zvýší svou světlou výšku. Toto zvýšení odpovídá míře stlačení přední nápravy a poloha odpérováných částí vozidla tak zůstává stejná. Podobně mohou mezi sebou reagovat i jednotlivé pružící jednotky na stejné nápravě a tím zabránit příčnému houpání vozidla při přejezdění překážek zatěžujících pouze levé, či pravé kolo.

### 3.2.6 Pryžokapalinové odpružení

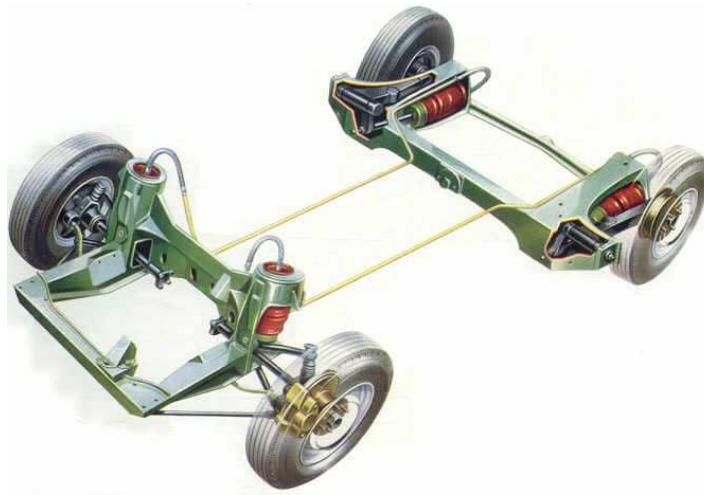
Toto řešení je svým principem podobné hydropneumatickému systému Hydragas. Místo plynové části je zde použita prstencová pryžová pružina. Tato jednotka se skládá ze dvou hlavních částí. Ve spodní komoře působí píst na kapalinu a přes pryžový tlumící ventil jí vtlačuje do horní komory. Zde kapalina tlačí na vnitřní plochu pryžové pružiny a ta vytváří pružící efekt. Tyto dvě komory jsou odděleny plechovou přepážkou. V ní jsou umístěny dva jednosměrné ventily propouštějící kapalinu s omezeným průtokem a ty způsobují tlumení.



Obr. 21 Pružící jednotka Hydrolastic [6]

Pohyb jednotlivých kol je přes převod přenášen na písty jednotlivých pružících jednotek. Podobně, jako u systému Hydragas, jsou i zde jednotlivé nápravy propojeny a přenášením kapaliny mezi přední a zadní nápravou je dosahována vodorovná poloha odpérováných částí vozidla.



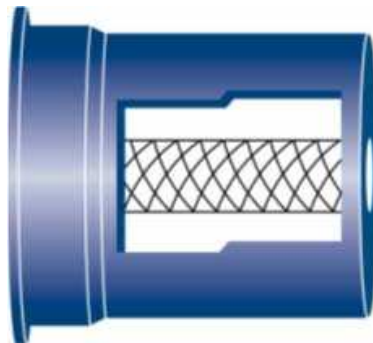


Obr. 22 Umístění pryžokapalinových pružin a jejich propojení [6]

### 3.2.7 Přídavné nekovové odpružení

Nekovové pérování je v současnosti využíváno nouze jako pomocné. Obvykle slouží jako dorazy, případně uchycení součástí, u nichž se předpokládají vibrace. Typickým příkladem jsou takzvané „silentbloky“.

Dříve se využívala pryž, jejíž deformační vlastnosti sice odpovídaly požadavkům, zato však měla omezenou životnost a po dlouhodobém zatížení měla snahu nevracet se do původní polohy. To má za následek špatné pružící vlastnosti a zároveň vznikání nežádoucích vůlí. Ty pak mohou mít špatný vliv na tuhost podvozku a na ovladatelnost celého vozidla. Dalšími nevýhodami bylo rychlé stárnutí, citlivost na provozní chemikálie (např. olej) a vlivy okolí. Z toho důvodu se dnes používá především polyuretan.



Obr. 23 Polyuretanové pouzdro [3]

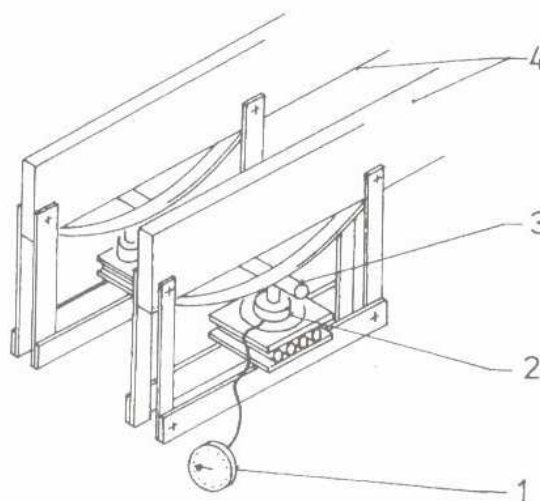


Tento materiál je sice dražší než obyčejná pryž, odstraňuje však všechny její zmiňované nedostatky. Polyuretan se poměrně snadno lepí na kov. Má lepší tvarovou paměť, nepodléhá atmosférickým vlivům, je chemicky odolnější a při správném použití je schopen i částečně tlumit cyklické vibrace. Zároveň umožňuje stlačení až o 80 % délky, aniž by se poškodil.

Na obrázku 23 je polyuretanové pouzdro sloužící pro zavěšení ramen. Na jeho vnitřní části je rýhování. To slouží kromě ovlivnění třecích sil i k rozvodu maziv mezi polyuretanovým mezikružím a ocelovým hřídelem.

### 3.3 Měření pružin

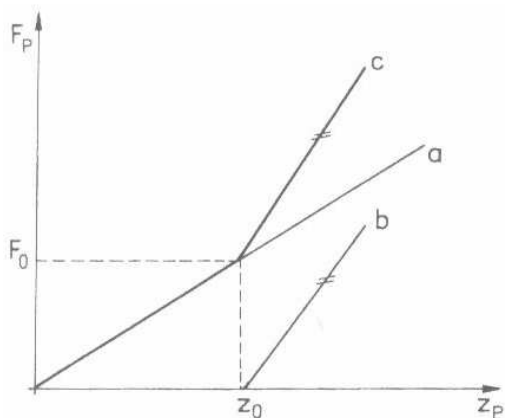
Existují dva zásadní způsoby jak měřit vlastnosti pružin. První způsob je statický, kde je vytvářen tlak na pružinu a zkoumá se průběh reakční síly v závislosti na mechanické deformaci. Klasický stav určený pro měření statické pružící charakteristiky je opatřen hydraulickým pístem, který má dva důležité senzory. Jedním z nich je zdvih pístu a druhým je snímač tlaku v kapalině. Jak stav prohýbá měřené pero, automaticky zaznamenává obě tyto hodnoty a následně z nich vyhodnocuje odpovídající průběh.



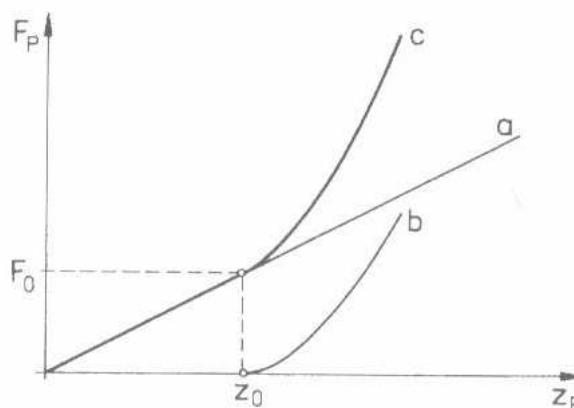
Obr. 24 Měřící stav pro zjišťování pružící charakteristiky [2]

1 – manometr, 2 – hydraulický píst, 3 – tuhá náprava, 4 – rám vozidla

Druhým způsobem je dynamické zatěžování samotné pružiny. Jeho hlavním cílem je zjistit životnost pružiny. Zde se tedy využívá mechanických impulzů, které jsou přenášeny na pružící prvek. Tyto impulzy mohou být způsobeny nevyváženým tělesem otáčejícím se na hřídeli, případně plynule nastavitelným klikovým mechanismem. Takovéto zkoušky jsou důležité především při výrobě a lze pomocí nich ověřit, případně zaručit spolehlivost nabízených pružin.



Obr. 25 Deformační charakteristika listového pera s přídatným listovým perem [1]



Obr. 26 Deformační charakteristika listového pera s přídatným rovným listem [1]

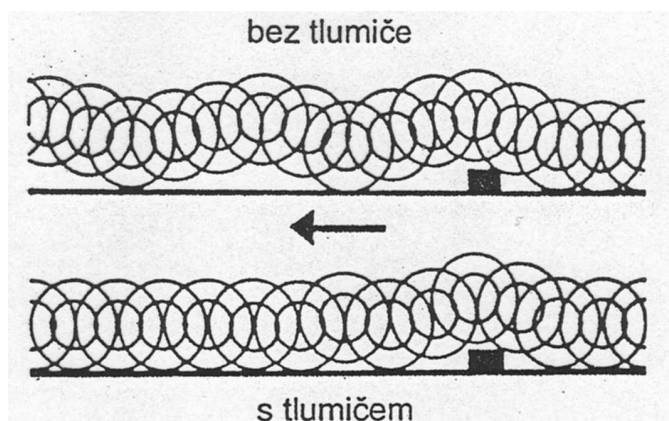
Legenda k obrázkům 25 a 26 :  
 a – charakteristika listového pera s původní délkou  
 b – charakteristika přídatného listového pera, respektive listu  
 c – výsledná charakteristika listového pera

### 3.4 Tlumiče pérování obecně

Tlumiče pérování jsou zařízení sloužící k tlumení kmitání pružících prvků a tím i potlačení kmitání neodpružených částí vozidla. Takového tlumení je třeba z několika důvodů. Pérování s příliš velkou výchylkou, nebo s nevhodnými frekvencemi, vede k nízkému jízdnímu komfortu (vibrace při určitých frekvencích mají dokonce špatný vliv na lidský organismus), může ohrozit převážený náklad, způsobuje dosedání pružin na doraz a tím zvyšuje hlučnost a opotřebení těchto elementů. Především však takovéto kmitání způsobuje odskakování kola od vozovky a tím zabraňuje přenášení požadovaných adhezních sil. Primárním cílem tlumičů pérování je tedy zajistit bezpečnost.

Principem teleskopického tlumiče je pohyb pístu v kapalině, při němž olej protéká pracovními ventily a tím působí odpor proti pohybu pístu. Nízkotlaké ventily slouží k průchodu kapaliny při stlačení tlumiče a vysokotlaké naopak při roztahování tlumiče.

Jejich tlak a tím i hydrodynamický odpor je rozdílný z toho důvodu, že při najetí kola na překážku je požadován rychlý výkyv kola (kvůli zabránění rázu), avšak při navrácení do původní polohy se musí tlumič vracet pomaleji. Je to proto, aby nedocházelo k již zmiňovanému odskakování.



Obr. 27 Dráha kol automobilu bez tlumičů a s tlumiči pérování [2]

Obrázek 27 zobrazuje dráhu kola při přejezdu přes nerovnost. U vrchního průběhu je vidět jeho rozkmitání, zatímco u dolního zůstává téměř ihned po navrácení do původní polohy v kontaktu s vozovkou. V dolním případě je použit

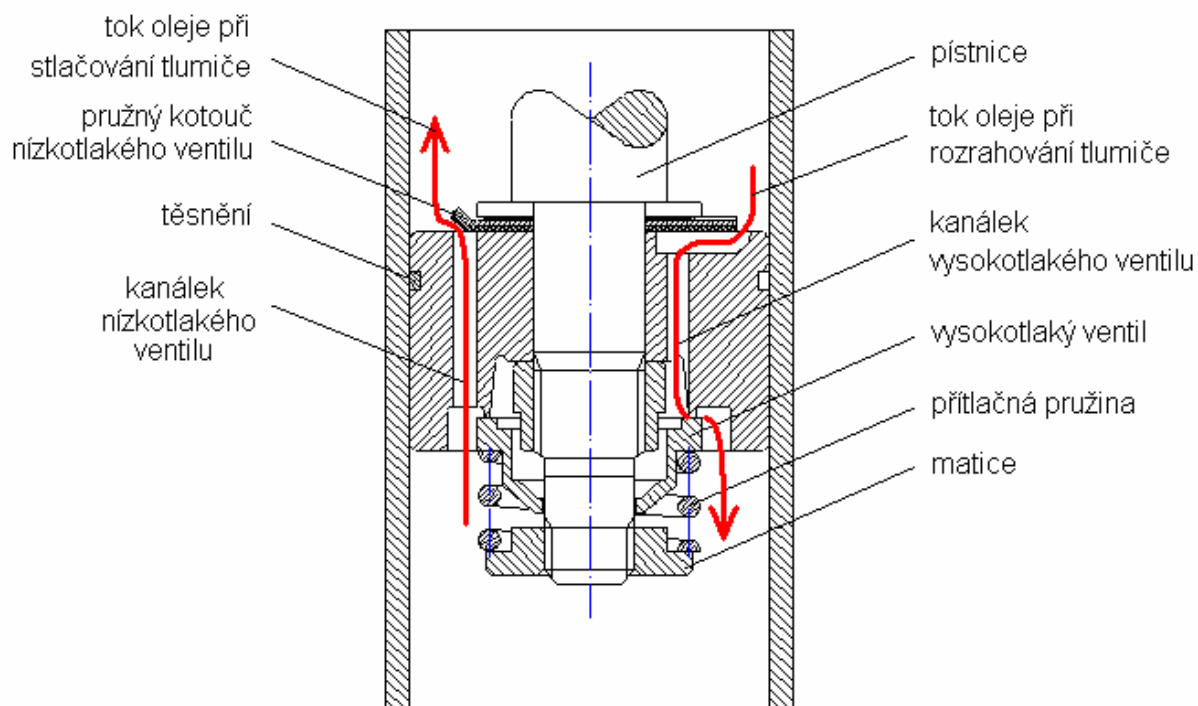
tlumič a díky odporu průtoku oleje ve vysokotlakém ventilu kolo nemá snahu vracet se tak rychle. Po dosednutí na vozovku se pak kolo zdaleka tolik neodráží a vozidlo může pokračovat bezpečně v jízdě.

### 3.4.1 Pracovní píсты tlumičů

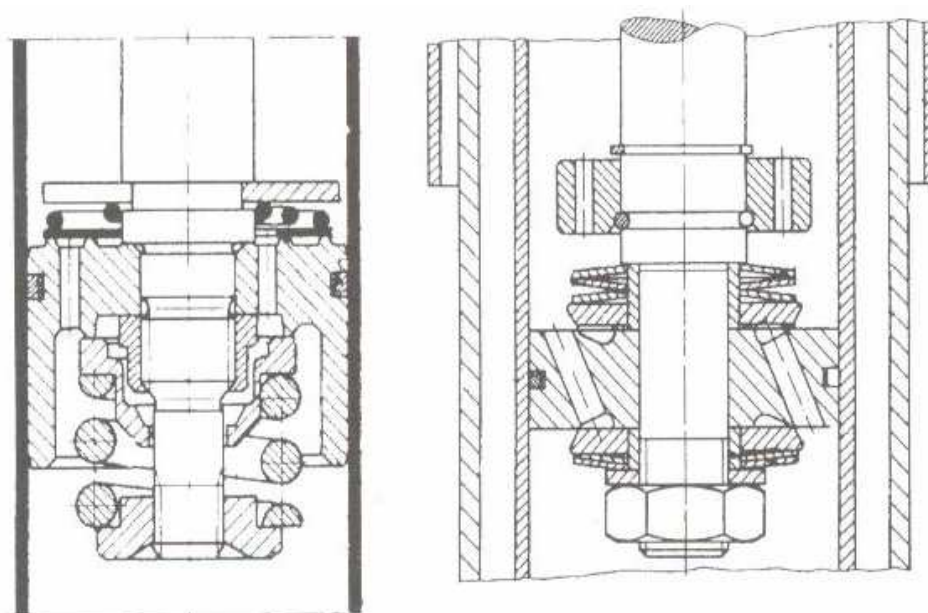
Pracovní písty jsou ta část kapalinových a plynokapalinových tlumičů, která je přímo zodpovědná za tlumení pohybu. Jsou pevně připojeny k pístnici a při svém posuvném pohybu jimi protéká olej z polohy pod pístem vzhůru i naopak.

Tomuto protékání brání vždy skupina kanálků rozmístěná rovnoměrně po obvodu pístu. Tyto skupiny jsou dvě a liší se ve vzdálenosti od středu pístu, se kterou jsou do pístu navrtány. Hydraulického odporu, který tvoří tlumící síly, je docíleno pomocí pružných ocelových kotoučů. Ty mají vždy takový poloměr, aby bránily průchodu oleje na konci těch kanálků, pro které jsou určeny. Vnitřními otvory protéká olej při roztahování tlumiče a vnějšími při jeho stlačování. Aby širší kotouč nebránil oleji i u kanálků na menším poloměru, jsou mezi sebou vždy vnitřní a vnější kanálky pootočený o určitý úhel a horní širší kotouč obsahuje výřezy. (Tato skutečnost je dobře viditelná na výukovém panelu, který je součástí mé práce.) To, že je tento kotouč širší, respektive tlak oleje působí na větším poloměru, a ještě má v sobě výřezy, dobře odpovídá požadavkům na jeho deformaci. Jak už bylo výše zmíněno, při stlačování tlumiče je očekávána menší tlumící síla, na rozdíl od toho při roztahování je potřeba tlumení účinnější. Je to z toho důvodu, že po najetí kola na překážku by bylo nevhodné, kdyby se karoserie (odpružené hmoty) příliš vychýlila a po přejetí překážky doskakovala na zem. Naopak při dosednutí kola na vozovku by podobné odskočení mohlo být způsobeno příliš rychlým navrácením pružiny do původního stavu.

U starších tlumičů lze vidět i řešení s použitím malé vinuté pružiny. Ta přitlačuje spodní kotouč ke kanálkům a o pístnici se opírá pomocí matice. Touto maticí lze rovněž při montáži nastavovat sílu tlumení. (I takovéto řešení je vystaveno na vytvořeném výukovém panelu.)



Obr. 28 Detail pracovního pístu [1]



Obr. 29 Možnosti konstrukce pracovních pístů [1]

### **3.5 Druhy tlumičů pérování a jejich vlastnosti**

Tlumiče pérování dělíme na:

- Teleskopické tlumiče kapalinové
- Teleskopické tlumiče vzduchokapalinové
  - nízkotlaké (dvouplášťové)
  - vysokotlaké (jednoplášťové)
- Teleskopické tlumiče elektoreologické, magnetoreologické

Dříve se používaly i takzvané pákové třecí tlumiče. Ty však podléhaly velkému opotřebení a v současnosti se již nevyrábějí. Z toho důvodu je v této práci neuvádím.

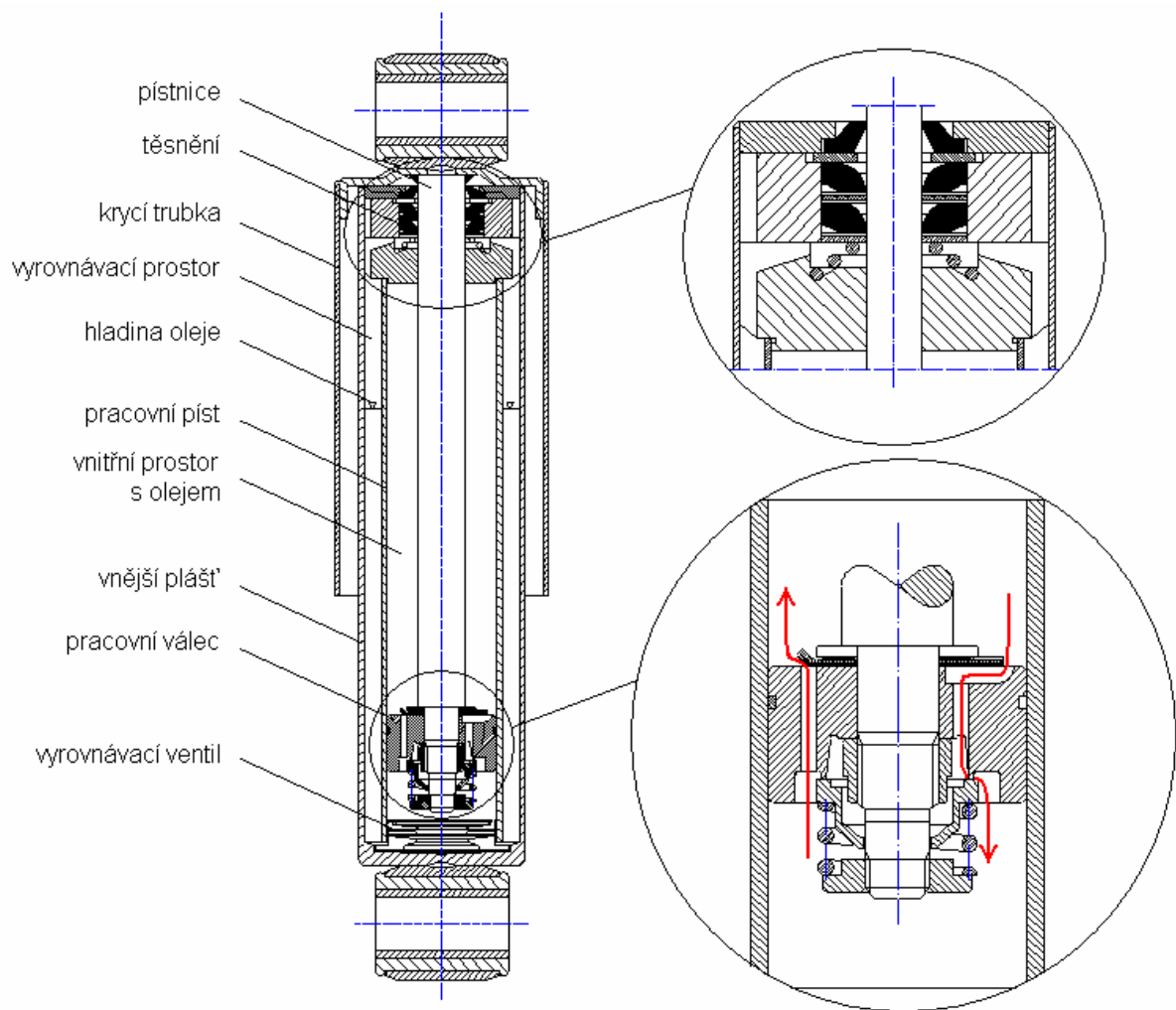
#### **3.5.1 Kapalinové teleskopické tlumiče**

Dvouplášťový olejový tlumič je nejstarším z dosud používaných provedení. Tlumič se skládá z vnějšího pláště, uvnitř kterého je pístnice a na ní píst. Dále pak obsahuje vnitřní plášť. Ve vnitřním plášti je olej, který při pohybu pracovního pístu protéká přes nízkotlaké a vysokotlaké ventily a tím jsou vytvářeny tlumící síly. Při stlačování tlumiče dochází k zasouvání pístnice do vnitřního prostoru a tím se celkový prostor v pracovním válci zmenšuje. Olej tak musí někam unikat.

Z toho důvodu je mezi pracovním prostorem a vnějším pláštěm ještě tzv. vyrovnávací prostor. Ten je zvnějšku ohraničen pracovním pláštěm a je přibližně ze dvou třetin naplněn olejem. Při vtlačování pístnice protéká přebytečný olej přes vyrovnávací ventily a zaplňuje tento vyrovnávací prostor. Nevýhodou takového provedení je možnost vzniku kavitace. Při průchodu oleje ventily může začít kapalina mírně pěnít a tím dochází k nadměrnému opotřebením ventilů.

Vzhledem k dvouplášťové konstrukci jsou tyto tlumiče rovněž omezené úhlem, pod kterým pracují. Při příliš vysokém naklopení by se mohla část vzduchu z vyrovnávacího prostoru dostat do pracovního válce a to by působilo sníženou funkčností tlumení. Tyto tlumiče se tedy mohou umísťovat pouze tak, aby při provozu nikdy nepřekročily úhel  $45^\circ$  v úči svislé ose vozidla.

Kapalinové tlumiče nepodléhají takovému opotřebením jako třecí. Díky tomu mají delší životnost a vyšší spolehlivost. Nevýhodou je zmiňovaná možnost pění při vysokých frekvencích.



Obr. 30 Dvouplášťový kapalinový tlumič

### 3.5.2 Plyno-kapalinové teleskopické tlumiče

#### a) Nízkotlaké dvouplášťové

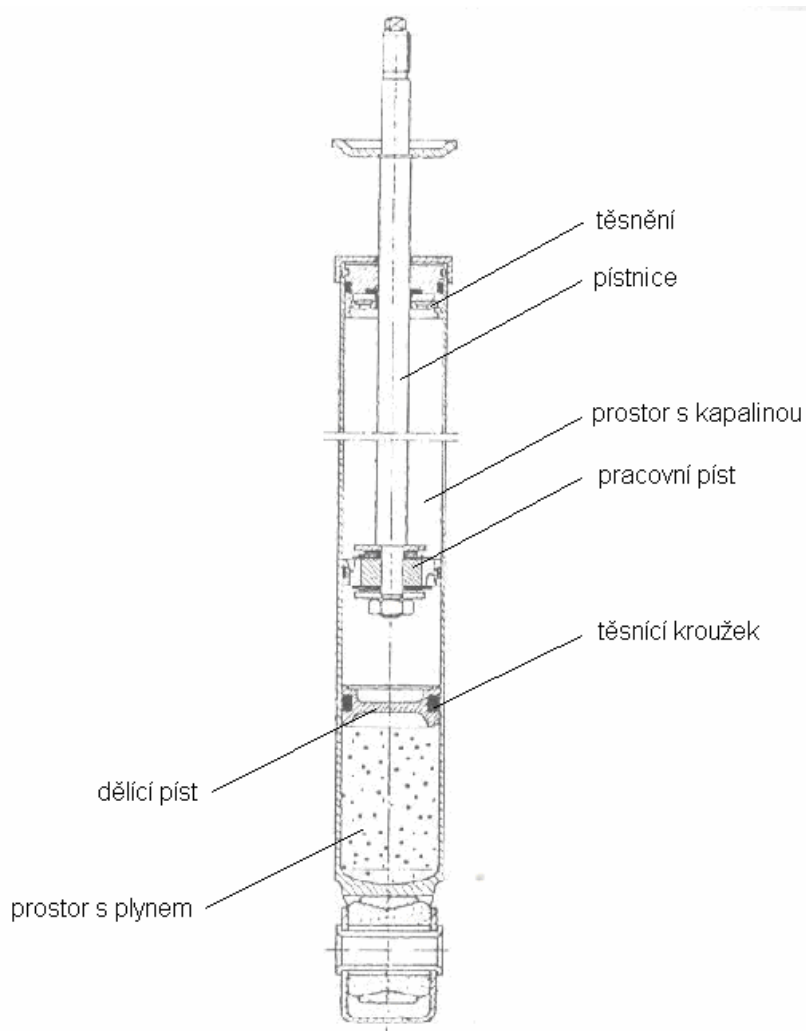
Nevýhoda pění oleje je do velké míry potlačena využitím stačeného plynu (dusíku). Ten je přítomen ve vyrovnávacím prostoru a vytváří tlak na olej. Díky vzniklému tlaku se při průchodu oleje ventily nevytváří pěna a chod těchto tlumičů je proto spolehlivější. Dusík je obvykle stlačen na tlak 2,5 – 5 barů. Pracovní píst má oproti kapalinovým tlumičům větší průměr, jinak jsou hlediska konstrukce nízkotlaké plynokapalinové tlumiče velice podobné olejovým.

#### a) Vysokotlaké jednoplášťové

Na rozdíl od dvouplášťových tlumičů jednoplášťové tlumiče neobsahují vyrovnávací prostor. Pracovní válec se skládá z kapalinové části a plynové. Tyto jsou

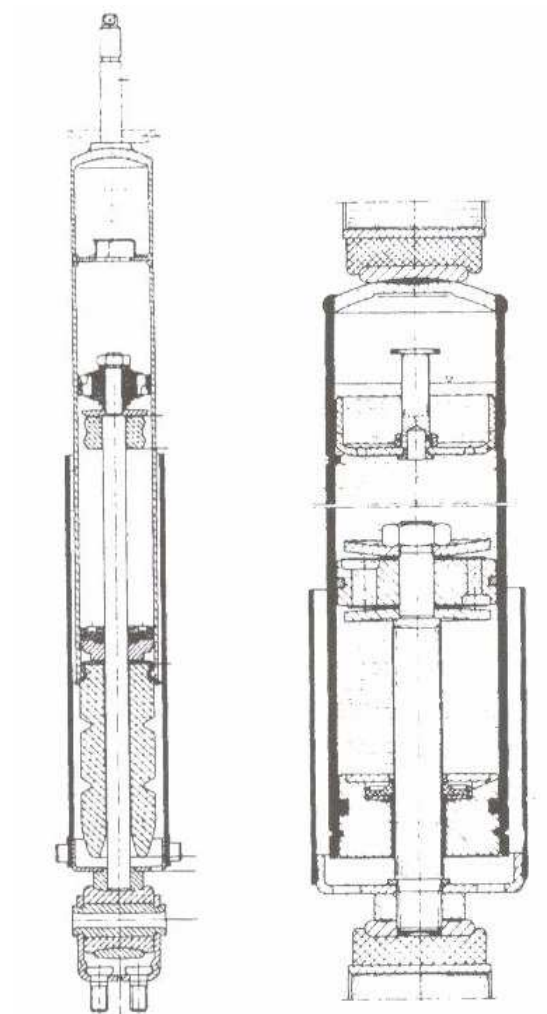
od sebe odděleny plovoucím pístem. Při zasouvání pístnice je plyn stlačován a olej tak nemusí odtékat do žádného vyrovnávacího prostoru, neboť se kapalinová část zvětšuje. Tlak dusíku v plynové části (pohybuje se v řádech od 0,3 až 0,6 MPa) navíc zabraňuje kavitaci a prospívá tak chodu tlumiče. Díky absenci vyrovnávacího prostoru lze použít větší plochu pístu a tím tlumit s větší efektivitou. Pracovní prostor je od okolí oddělen menší vrstvou materiálu a je tedy zároveň lépe chlazen. Vzhledem k tlaku vytvořenému v kapalině může jednoplášťový tlumič lépe tlumit kmitání s vyššími frekvencemi, neboť mu v tom nebrání pění oleje.

Kromě použití dělicího pístu se využívají i řešení s odrazovou stěnou, případně s uklidňovacím pístem.



Obr. 31.1 Jednoplášťový teleskopický tlumič [1]





Obr. 31.2 Jednoplášťové plynové tlumiče s odrazovou stěnou (vlevo a s uklidňovacím pístem (vpravo) [1]

Výhody: jednoplášťových teleskopických tlumičů jsou tedy jejich spolehlivější funkce i při kmitání s většími frekvencemi a nižšími amplitudami (díky zabránění kavitaci). Dále pak možnost účinnějšího chlazení, menší citlivost na teplotu a menší tlaky v oleji vzniklé pohybem pístu v pracovním plášti.

Nevýhodou je horší těsnost a kratší životnost těsnících kroužků.

### 3.5.3 Elektronické tlumiče

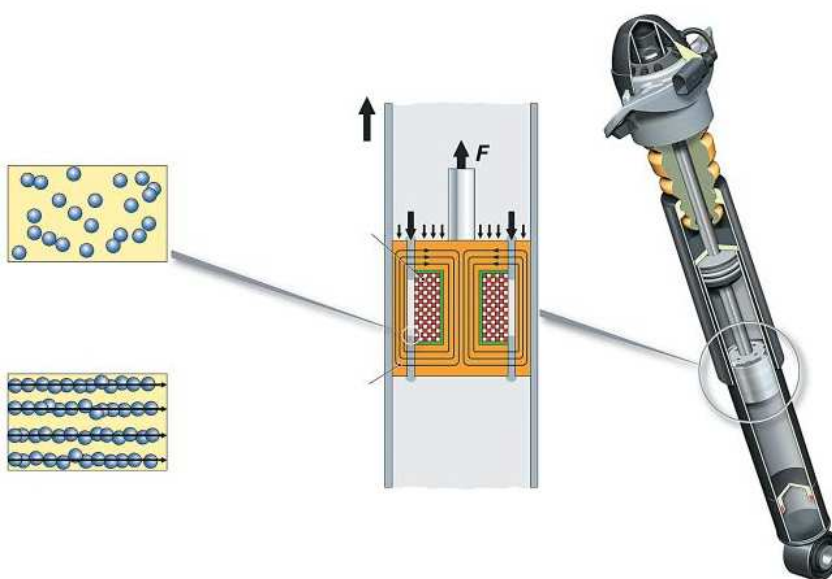
Za elektronické tlumiče můžeme považovat ty, které využívají k ovládní, případně regulaci elektrickou energii. Nespornými výhodami takového ovládní je rychlost, s jakou jsou tlumiče schopny reagovat. V kombinaci se senzory na vozidle a řídicí jednotkou jsou schopny přizpůsobovat průběh tlumení téměř okamžitě podle potřeby.

### a) Elektroeologické

Velkým technickým průlomem je využívání takzvané elektroeologické tekutiny. Ta má tu vlastnost, že obsahuje mikročástičky citlivé na elektrické pole. V případě ovlivnění elektrickým polem se jednotlivé částice seskupují do řetězců a viskozita dané kapaliny vysoce stoupá. Z principu fungování tlumiče je zřejmé, že čím větší je viskozita použité kapaliny, tím větší odpor klade při protékání ventily pístu a tím větší vytváří tlumící efekt. V oblasti pístu je tedy umístěno elektrické vinutí napájené vodiči vedoucími pístnicí. To pak ovládá stav okolní tekutiny. Reakční doba se zde pohybuje v řádech milisekund. Řídící jednotka tedy vyhodnocuje údaje o zrychlení vozidla, o aktuální světlé výšce, případně o naklápění vozu a téměř nepřetržitě může ovládat tlumení každého jednotlivého kola.

### b) magnetoreologické tlumiče

Kromě elektroeologické kapaliny lze použít i magnetoreologickou. Ta se liší tím, že obsahuje větší částičky železa a jejich seskupování je řízeno magnetickým polem. Vnitřní tření takto zmagnetizované kapaliny je až desetkrát větší než v případě elektroeologické. Možnost ovlivnění viskozity, a tím i tlumení, je tedy ještě výraznější.

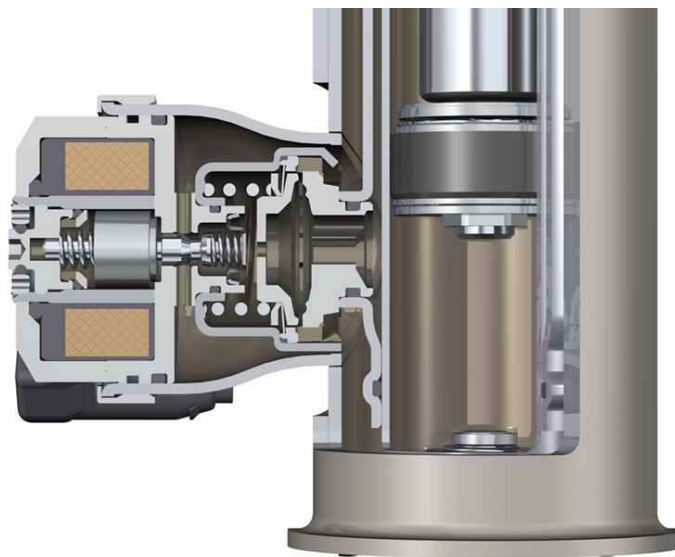


Obr. 32 Řez magnetoreologickým tlumičem [12]

Výhody těchto tlumičů spočívají v jejich rychlosti přizpůsobení se požadavkům na tlumící síly. Nevýhody jsou jejich cena, rychlé opotřebení a energetická náročnost.

### c) CDC regulace

Jednodušší a ekonomicky finančně dostupnější je řešení firmy Sachs. Zde je umístěn elektromagneticky ovládaný ventil na vnější straně tlumiče a jeho pohybem lze regulovat množství oleje, které při zasouvání a vysouvání pístnice protéká do vnějšího vyrovnávacího pláště. Při pokynu od řídicí jednotky je do ovládání přivedeno napětí. Cívka umístěná před ventilem přitáhne pístek a olej může volně odtékat. Pérování se tak stává pružnější. Ve chvíli, kdy provozní podmínky vyžadují větší odpor při tlumení, řídicí jednotka přeruší přívod napětí na cívku, elektromagnetické pole pomine a píst ventilu se pomocí vyrovnávací pružiny vrátí do původní polohy. Odpor proti průtoku oleje se tím zvětší a pérování je tužší. Tento systém je navržen tak, aby v případě poruchy ventil mechanicky zůstal v uzavřené poloze. Je to z toho důvodu, že větší tuhost znamená obvykle bezpečnější jízdu a má tedy přednost před pohodlnějším měkkým pérováním.



Obr. 33 Systém CDCe regulace tlumící síly [5]

Na obrázku 33 je vidět složení CDCe (external valve) tlumiče Sachs. Vlevo je elektromagnetické vinutí. Uprostřed je píst ovládaný pohybem kovového válce uvnitř vinutí.

Výhodou takového provedení je pohotovější progresivita tlumení oproti tlumičům bez elektronické regulace a zároveň menší cena oproti elektroeologickým a magnetoeologickým tlumičům

#### **d) Odpružení využívající lineární elektromotory (Bose)**

Řešení vyvinuté společností Bose je v tomto směru velkou technologickou raritou. K regulaci odpružení je zde využít lineární elektromotor umístěný vždy samostatně u každého kola. Ten má ve svém válci stator rozvinutý do roviny a na něj je přiváděn elektrický proud vytvářející elektromagnetické pole. Toto pole pak může působit jako odpor proti pohybujícímu se magnetickému pístu uvnitř.

Výhodou takového provedení je především jeho bezkonkurenčně nejrychlejší schopnost reagovat na jízdní požadavky. Vzhledem k tomu, že zde neproudí žádná kapalina, pouze elektromagnetické pole, jedná se při tlumící adaptaci řádově o jednotky milisekund. Další výhodou je možnost rekuperace proudu. Vozidlo vytváří při jízdě pohyb pístu (pérování) a tím se ve statoru indukuje proud. Pokud se tento proud přivede do kondenzátorů zásobujících elektrický náboj, lze ho později využít k dalšímu tlumení.



*Obr. 34 Pérování pomocí lineárních elektromotorů [10]*

### 3.6 Možnosti přizpůsobení tlumení

Tak, jako jsem mluvil o progresivitě pérování, i v případě tlumení je třeba přizpůsobit jeho intenzitu potřebám při různých zatíženích a jízdních podmínkách. Každá z renomovaných firem řeší tuto situaci po svém. V předchozí kapitole jsem již mluvil o tlumičích pérování, které jsou schopny měnit svou účinnost podle potřeby. Zde se však budu věnovat těm systémům, které při své funkci nevyžadují elektrickou energii a jejichž progresivita je dána samotnou mechanickou konstrukcí.

Nejstarším způsobem je systém vyvinutý firmou Monroe. Jejím prvním konstrukčním řešením byl systém SENSE-TRAC. Snahou bylo umožnit určitý stupeň tlumení pro menší amplitudy a jiný pro výkyvy automobilu přesahující danou mez. Čím je zatížení vozidla větší, tím větších výchylek dosahuje tlumící píst v obou směrech a právě toho SENSE-TRAC využívá. V oblasti odpovídající standardnímu zatížení je otevřená drážka, kterou může olej při pohybu pístu obtékat. Odpor, který je tlumiči kladen, je tedy menší a tlumící efekt je tedy v této oblasti nižší. Odpovídá spíše komfortnímu nastavení. Ve chvíli, kdy se píst dostane do výchylky, ve které drážka končí, olej je nucen protékat pouze ventily a odpor proti pohybu roste.

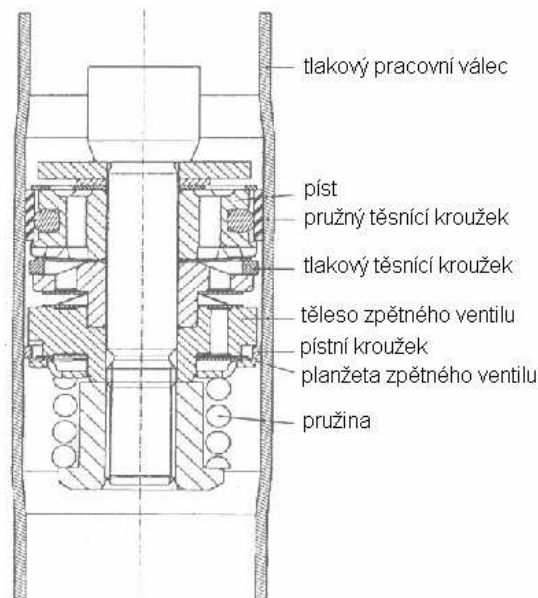


Obr.35 Obtoková drážka Monroe PSD [6]

Tento systém je označován jako PSD (Position Sensitive Damping). V současnosti se vyrábí i v inovované variantě nazvané SAFE-TECH. U ní jsou zakončení obtokové drážky mnohem plynulejší. Zároveň už není ocelový kotouč přitlačován k ventilům pružinami, ale je použit pružný kotouč, který se pod tlakem

oleje sám ohýbá, což značně zjednodušilo konstrukci pístu a umožnilo tlumiči rychleji reagovat na pohyb kola.

Další možností od stejné firmy je provedení DCD (Displacement Conscious Damping). Toto řešení je určeno pro automobily, u nichž se předpokládá uložení tlumičů pod vysokým úhlem. Účinnost obyčejného tlumiče by byla takovýmto uložením snížena, neboť dráha, kterou píst urazí při určité změně světlé výšky, se s úhlem natočení tlumiče rapidně snižuje. Průměr pracovního válce je tedy přizpůsoben pracovním oblastem odpovídajícím režimu zatížení. Namísto drážky v jednom místě obvodu je zde rozdílná šířka celého pracovního válce. Těsnění mezi pístem a válcem je řešeno pomocí rozpěrných kroužků, které udržují těsnící kroužek vždy v kontaktu s válcem.



Obr. 36 Detail pracovního pístu DCD tlumiče [1]

### 3.7 Měření tlumičů

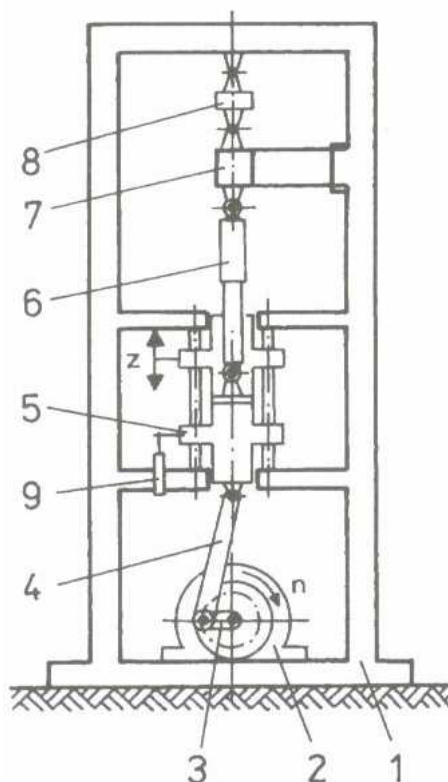
Měření tlumičů pérování se dá rozdělit do dvou hlavních skupin:

- a) Měřicí stavy pro zkoumání samotných tlumičů mimo vozidlo
- b) Bezdemontážní způsoby měření
  - rezonanční amplitudová
  - adhezní metody EUSAMA

Vzhledem k rozsahu této práce zde popíšu zde pouze měřicí stavy určené pro vymontované tlumiče.

### Měřící stavy pro měření tlumiče mimo vozidlo:

Jedním ze způsobů, jak můžeme tlumiče pérování měřit, je speciální stav, který je určen pro instalaci samotného tlumiče. Jeho princip je poměrně prostý. Skládá se z motoru, který pohání klikový hřídel a ten přes ojnici přenáší pohyb na tlumič umístěný do stojanu. Spodní část tlumiče se tak periodicky pohybuje a tím je simulována jeho činnost. Přes pružný člen je tlumič spojen se snímačem síly.



Obr. 37 Stav pro měření tlumičů [2]

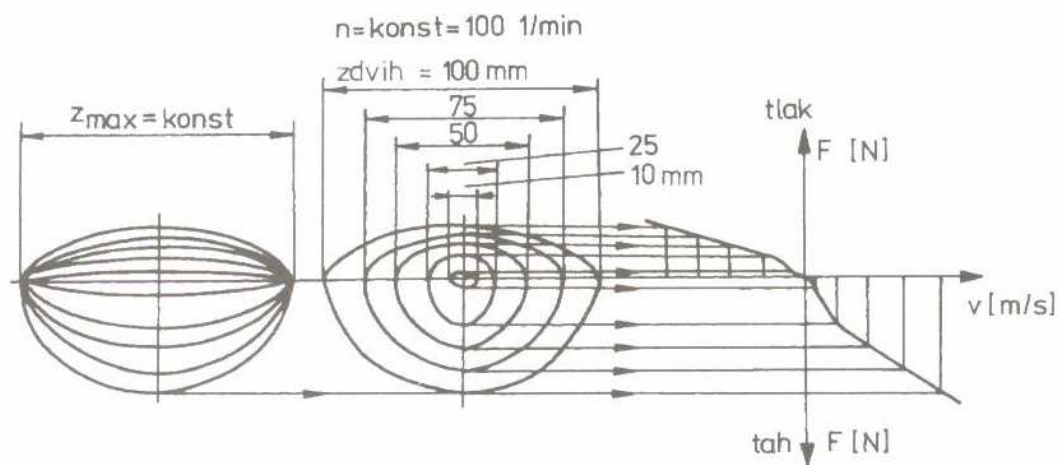
Na obrázku 37 je stav pro měření tlumičů. Jednotlivé čísla popisují následující části:

- |                 |                 |            |
|-----------------|-----------------|------------|
| 1 – rám         | 2 – motor       | 3 - klika  |
| 4 – motor       | 5 – vodící saně | 6 - tlumič |
| 7 – pružný člen | 8 – snímač síly |            |

Jak již bylo zmíněno, stav vytváří periodický pohyb. Tlumící efekt však u tlumičů musí být rozdílný v závislosti na tom, zda se jedná o tah, nebo tlak. (Viz kapitola 3.4.) Výsledkem je tedy diagram využívající všechny čtyři kvadranty. Klasickou charakteristikou je zdvihová, která zobrazuje závislost tlumící síly na dráze pístu. Druhou možností je tzv. rychlostní charakteristika. Zde se mění rychlost



periodického pohybu a odpor tlumiče je brán jako její funkce. I zde je průběh pro každý smysl pohybu jiný.



Obr. 38 Charakteristiky tlumiče vyjadřující závislost síly na dráze (zdvihová) a závislost síly na rychlosti (rychlostní) [2]

#### 4 Výpočet deformace vinuté pružiny

V této kapitole bych rád ukázal možnosti výpočtů týkajících se odpružení vozidla. Stejně jako výukový panel, i tento příklad bude moci být použit jako nástroj k procvičení znalostí při studiu.

Na přední nápravě osobního vozidla je vinutá pružina se středním průměrem vinutí 100 mm a celkovým počtem šesti závitů. V klidovém stavu je zatěžována silou 3500 N. Po najetí kola na překážku na ni působí síla 4300 N. Při standardním zatížení 3500 N přenáší napětí 891,27 MPa. Závit je uzavřený a Youngův modul pružnosti ve smyku je  $G = 83\,000$  MPa. Vypočítejte, o kolik se daná pružina stlačí po najetí na překážku.

Nejprve je třeba určit působící moment:

$$M_1 = F_1 \cdot \frac{D}{2} [N\,mm]$$

$$M_1 = 3500 \cdot 50 = 175000\,N\,mm$$



Smykové napětí známe, můžeme tedy vypočítat průřezový modul drátu:

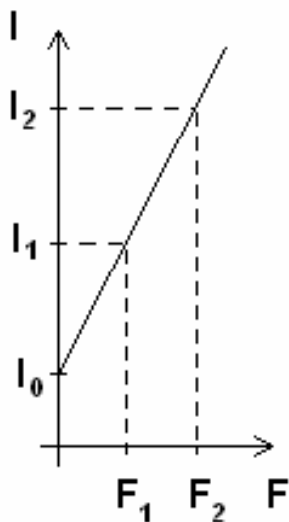
$$\tau_1 = 1782,53 \text{ MPa} \quad W_k = \frac{M_1}{\tau_1} \quad W_k = \frac{175000}{891,27} = 196,35 \text{ mm}^3$$

Z něj můžeme odvodit průměr drátu potřebný k určení tuhosti pružiny:

$$W_k = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot W_k}{\pi}} \quad d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 196,35}{\pi}} = 10 \text{ mm}$$

Pružina má celkem 6 závitů. Vzhledem k tomu, že má uzavřené vinutí, je počet skutečně činných závitů  $n_{\text{cel}} - 1 - 1 = 4$ .

Nyní můžeme vypočítat tuhost pružiny úpravou vztahu pro určení  $n_\xi$ .



$$n_\xi = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot k \cdot D^3} \Rightarrow k = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot n_\xi \cdot D^3} [N \cdot mm^{-1}]$$

$$k = 25,94 [N \cdot mm^{-1}]$$

Po zjištění tuhosti pružiny a se znalostí zatěžujících sil určíme rozdíl v deformacích.

$$l_1 = F_1 \cdot k \quad l_1 = 3500 \cdot 25,94 = 135 \text{ mm}$$

$$l_2 = F_2 \cdot k \quad l_2 = 4300 \cdot 25,94 = 166 \text{ mm}$$

$$l_2 - l_1 = 21 \text{ mm}$$

Takováto pružina se při zadaném zatížení stlačí o 21 mm.

## 5 Vývojové trendy výrobců pružících a tlumících prvků

Z předešlých kapitol lze snadno vypožorovat, že trend výrobců je zvyšování pohodovosti a progresivity odpružení vozidel. V případě pružících prvků u osobních automobilů ještě stále převládají vinuté pružiny. Objevují se však i snahy o doplňující pružící elementy, jako například přídavné vzduchové vaky Air Spring (obrázek 18). Snahou je odstraňování kompromisů mezi jízdním pohodlím a zajištěním bezpečnosti a nejvíc se tak děje používáním elektronických systémů. Již v současnosti je každé vozidlo vybaveno souborem řídicích jednotek, které v reálném čase monitorují stav vozidla a jsou schopny vydávat náležitě podněty k regulaci provozního nastavení. Například u torzních tyčí lze pro natáčení seřizovacího šroubu využít elektrický servomotor a regulace tak může probíhat zcela automaticky.

O elektrifikaci podvozků svědčí i systém firmy Bose (obrázek 31), který využívá pro pérování lineární elektromotory. Vzhledem k tomu, že neobsahuje žádné kapaliny a působící síly zde vytváří elektromagnetické pole, je takovýto systém schopen reagovat a přizpůsobovat se okolnostem okamžitě v reálném čase a bez nutnosti zásahu řidiče. Právě automatizace je nezbytným prvkem, který může zajistit posádce nejen pohodlí, ale především dostatečnou schopnost reagování a tím bezpečnost.

V případě tlumičů pérování jsou popsány trendy stejné jako u pružících prvků. Do popředí se dostávají především takové systémy, které jsou adaptabilní. Velkým technologickým potenciálem se vyznačuje využívání elektoreologických kapalin. Výroba takovýchto směsí není nijak problematická. Nevýhodou je však nutnost vysoce odolných materiálů použitých ve ventilech. Tím, že kapalina obsahuje kovové mikročástičky, působí při styku s okolím mnohem abrazivněji než obyčejné oleje. Navíc jsou podobné systémy velice náročné na přísun elektrické energie a zvyšují tak spotřebu paliva. Budoucí širší využívání takovýchto tlumičů tedy závisí na dostupnosti a ekonomické únosnosti moderních materiálů.

## 6 Popis výroby panelu

### 6.1 Opracování a instalace tlumičů pérování

Při výrobě panelu bylo v první řadě třeba sehnat dané součásti. Nejpříjemnějším místem byla autovrakoviště. Zde jsem sehnal první z instalovaných tlumičů. Byl to dvouplášťový olejový tlumič používaný ve voze Škoda Felicia. Při studiu jsem vykonával praxi ve společnosti Decom system, dealerovi Volvo v Pardubicích. Obrátil jsem se tedy i na ně a po vysvětlení účelu mi byli ochotni věnovat pár použitých tlumičů osvědčené německé značky Sachs. Jednalo se o vysokotlaké tlumiče schopné udržovat světlou výšku a určené pro vozy Volvo. V tuto chvíli však pro mne představovaly vysoké riziko při manipulaci a jejich obrábění právě díky vysokému tlaku, který je uvnitř tlumičů. Další tlumič jsem sehnal na internetové aukci. Tento je dvouplášťový kapalinový a je určen pro značku Toyota. Pochází z dílny společnosti Kayaba.

Mým dalším krokem bylo přizpůsobení tlumičů k tomu, abych je mohl umístit na panel. Mou původní představou bylo radiální rozříznutí tlumičů po celé jejich délce. Od této myšlenky jsem však brzy upustil, neboť by to bylo dost nákladné a technologicky náročné řešení, aniž by přineslo odpovídající užitek. Zvolil jsem tedy možnost odfrézování a odvrtání jen té části plášťů, pod kterou je vidět, jak píst tlumiče proniká pracovním prostorem, a kde je zároveň vidět vyrovnávací ventil. Osobně jsem pro takovéto úpravy neměl odpovídající nástroje. Využil jsem však možnosti nedaleké společnosti Prokop, a.s., která nabízí mechanické úpravy kovových prvků a strojnické práce. Zde se podařilo po domluvě s řemeslníkem odstranit dané části krytů tlumičů. Vrchní pláště byly odfrézovány a vnitřní odvrtány. Po očištění jsou tedy připraveny na instalaci na panel.

Pro jejich instalaci k podkladové desce jsem použil kovové vidlicové stojany s plastovým povrchem. Ty jsou zakončeny vrutovým závitem a lze je snadno navrtat do dřevěného podkladu. Kvůli tomu, aby byly tlumiče připevněny dostatečně pevně, jsem navíc navrtal do desky dvojice otvorů kopírujících osu tlumičů a jimi prostrčil pásku stahující je ke stojanům.

## **6.2 Opracování a instalace pružících prvků**

Při pořizování pružících prvků jsem se zaměřoval jak na konstrukční prvky listových per a vinuté pružiny, tak i na plynokapalinové odpružení. Kromě dvou dealerů a servisů Citroën jsem obešel i autorizované servisy nákladních vozů MAN, DAF a Scania. Zjistil jsem, že standardním postupem je vracet příslušné vyměňované prvky majitelům, kteří je pak odváží do sběru kovových materiálů. Ač byli ve většině případů technici velice chápaví a ochotní, součástek vhodných pro mou práci, které by se nemusely objednávat, bylo velmi málo. V tomto směru mi nemohli pomoci ani v nedalekém JZD, kde se zaměřují na opravy traktorů.

Mezi vystavované prvky na panelu patří i část listového pera, na níž je oko určené pro uložení na rám vozidla. Toto listové pero se mi podařilo sehnat v jednom z pardubických autoservisů jménem Pibar. Stejně jako u jiných společností, které jsem při vytváření této práce kontaktoval, mi i zde po vysvětlení účelu a smyslu velice ochotně vyšli vstříc. Pro mé využití však bylo pero příliš veliké. Proto jsem se rozhodl odříznout pouze krajní část, kde je dobře vidět oko pro rotační, případně výkyvné uložení. Na tomto konci je zároveň vidět i pryžová vrstva tlumící rázy mezi pružinou a rámem vozidla.

Abych dosáhl snahy obsáhnout co nejširšího spektra pružících prvků, vydal jsem se i do autorizovaného servisu Citroën Autotechnik JM. zde se mi podařilo získat dvě pružící části vzducho kapalinové jednotky Hydractive. Jedna je určena pro celou nápravu, druhá je pro konkrétní kolo a obsahuje i tlumící ventily. Tuto kulovou část jsem tedy rozřízl tak, aby byla vidět membrána oddělující kapalinu a plyn a zároveň aby byl vystaven řez tlumícími ventily.

Pro zastoupení vzduchového pérování jsem vybral regulační ventil. Ten mi poskytli v Dopravním podniku města Pardubic. Po odfrézování lze vidět vnitřní táhla a výplně, které se při otáčení ovládací páky pohybují a ovlivňují tak průtok vzduchu.

## 8 Závěr

Účelem této práce bylo vysvětlení principu činnosti pružících systémů, jakožto i tlumičů pérování. Pojmenování jednotlivých konstrukčních řešení a jejich charakteristika. V práci jsem popsal co nejširší spektrum pružících prvků od listových per, přes vinuté pružiny, zkrutné tyče, až po technologicky nejvyspělejší pérování pomocí lineárních elektromotorů. U tlumičů pérování jsem uvedl starší, v současnosti méně používané varianty, jako například dvouplášťové kapalinové tlumiče. Zároveň však i novější řešení za pomoci plynů a adaptabilních elektronických systémů. U každého jsem doplnil popis jeho činnosti, výhody, které takové řešení nese, a opatřil jsem jej náležitými grafickými podklady. Na popsanych systémech, jak jsem je postupně popisoval, je vidět i směr, kterým se nejen výrobci pružin a tlumičů, ale i celý automobilový průmysl vydává. Tento směr jsem zároveň popsal v páté kapitole.

Při práci jsem čerpal z vlastních poznámek a poznatků ze studia konstrukce silničních vozidel. Dále pak z knih profesora Františka Vlka, které jsou pro toto téma maximálně přehledné. Důležitou součástí inspirace byly i stránky výrobců a distributorů tlumičů pérování, které jsou rovněž uvedeny v použitých zdrojích.

Při výrobě panelu jsem zkontaktoval většinu pardubických servisních středisek, které byly možným zdrojem materiálu pro mou práci. Vystavované prvky jsem opracoval tak, aby na nich byly vidět důležité části mající vliv na fungování celku. Na panel jsem umístil systémy odpovídající vzduchovému pérování, listové pero, vinutou pružinu se všemi prvky progresivity, hydropneumatické odpružení, dvouplášťové tlumiče s pracovními písty s pružinou i s pružnými kotouči. Zároveň i vysokotlaký plynokapalinový tlumič.

Součástí této bakalářské práce je i příklad, který prověří znalosti z oboru pružnosti a pevnosti. Tyto znalosti jsou nezbytné jak pro případné budoucí studium, tak i pro navrhování a dimenzování podobných zařízení v praxi.

Při práci jsem se poučil o nových technických možnostech řešení v této oblasti. Setkal jsem se blíže s fyzickými detaily jednotlivých prvků a doufám, že díky praktické části budou mít i ostatní studenti možnost snadněji a přirozeněji poznávat danou látku.

## 9 Seznam použité literatury

- [1] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3. aktualizované vydání. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrCs., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 464 s. ISBN 80-239-6464-X
- [2] VLK, Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. 2. vydání. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrCs., nakladatelství a vydavatelství, 2005. 576 s. ISBN 80-239-3717-0
- [3] *SuperPro* [online]. 20.08.2010 [cit. 2010-10-29]. SuperPro polyuretanová pouzdra. Dostupné z WWW: <http://www.superpro.motorteam.eu>
- [4] *Kayaba manufacturing* [online]. 29.10.2010 [cit. 2010-9-17]. Tlumiče Kayaba. Dostupné z WWW: <http://www.kyb-europe.com>
- [5] LÁNÍK, Ondřej. *Auto.cz* [online]. 19.08.2004 [cit. 2010-10-29]. Aktivní tlumiče letos našly cestu do běžných aut!. Dostupné z WWW: <http://www.auto.cz/cdc-aktivni-tlumice-letos-nasly-cestu-do-beznych-aut-16717>
- [6] *Podvozek osobního automobilu - pružiny* [online]. 13.01.2010 [cit. 2010-11-03]. Auto5p. Dostupné z WWW: <http://www.auta5p.eu/informace/podvozek/podvozek2.htm>
- [7] *Mjauto.cz* [online]. 09.07.2009 [cit. 2010-11-03]. Tlumiče pérování KAYABA, BILSTEIN, SACHS, ALKO, MONROE. Dostupné z WWW: <http://www.mjauto.cz/tlumice.htm>
- [8] *Autovaky.cz* [online]. 14.08.2006 [cit. 2010-11-26]. Air-spring. Dostupné z WWW: <http://www.autovaky.cz/index.php?page=technologie>.
- [9] *FdgdfgAutolexicon.net* [online]. 19.10.209 [cit. 2010-11-20]. Airmatic. Dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/airmatic>
- [10] *Auto.cz* [online]. 21.03.2009 [cit. 2010-11-26]. Bose: aktivní podvozek nové generace. Dostupné z WWW: <http://www.auto.cz/bose-aktivni-podvozek-nove-generace-16657>.
- [11] *Mgf.ultimatemg.com* [online]. 11.05.2004 [cit. 2010-11-26]. Hydragas. Dostupné z WWW: <http://www.mgf.ultimatemg.com/group2/suspension/hydragas.htm>.
- [12] *Autopriemysel.sk* [online]. 30.07.2005 [cit. 2010-11-26]. Magnetoreologický tlumič – novinka v dopravních systémech . Dostupné z WWW: [http://www.autopriemysel.sk/index.php?option=com\\_content&task=view&id=5919&Itemid=118](http://www.autopriemysel.sk/index.php?option=com_content&task=view&id=5919&Itemid=118).