



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## SROVNÁNÍ SEMI-AKTIVNÍCH A KONVENČNÍCH SYSTÉMŮ ODPRUŽENÍ VOZIDEL Z POHLEDU JÍZDNÍHO KOMFORTU

COMPARISON OF SEMI-ACTIVE AND CONVENTIONAL VEHICLES SUSPENSION SYSTEMS IN  
TERMS OF DRIVING COMFORT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

EDUARD BAROŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN SUCHÝ

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Eduard Baroš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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:

**Srovnání semi-aktivních a konvenčních systémů odpružení vozidel z pohledu jízdního komfortu**

v anglickém jazyce:

**Comparison of semi-active and conventional vehicles suspension systems in terms of driving comfort**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce by měla obsahovat detailní porovnání charakteristických vlastností ovlivňujících jízdní komfort u vybraných typů odpružení vozidel.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Rozdělení tlumičů motorových vozidel.
- 2) Popis konstrukce a činnosti konvenčních tlumičů.
- 3) Popis konstrukce a činnosti semi-aktivních systémů odpružení vozidel.
- 4) Výhody a nevýhody vybraných typů odpružení vozidel.

Seznam odborné literatury:

- [1] JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav a ČUPERA Jiří. Automobily (1): Podvozky. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-11-7.
- [2] GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. ISBN 1-56091-199-9.
- [3] REIMPELL, Jornsens. The Automotive Chassiss. 2nd edition. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2001. 444 s. ISBN 0 7506 5054 0.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Suchý

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 18.11.2014

L.S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

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



## ABSTRAKT

Hlavným cieľom tejto bakalárskej práce je porovnanie charakteristických vlastností, vybraných typov odpruženia, ktoré ovplyvňujú jazdný komfort vozidiel. V úvode stručne oboznamuje s históriou a účelom odpruženia. Popisuje dynamiku odpruženia vozidla. Obsahuje rozdelenie, popis konštrukcie a činnosti prvkov odpruženia, ich použitie v konvenčnom type odpružení a semi-aktívnych systémoch odpruženia. Ďalej klasifikuje známe systémy odpruženia do kategórií a podrobne rozoberá ich vlastnosti. Výsledkom je porovnanie so zreteľom na jazdný komfort. Posledná kapitola je venovaná vývojovým trendom odpruženia blízkej budúcnosti.

## KLÚČOVÉ SLOVÁ

tlmič, podvozok, zavesenie kolies, konvenčné odpruženie, semi-aktívne odpruženie, komfort

## ABSTRACT

The main object of this bachelor thesis is comparing characteristic properties of selected types of suspension affecting driving comfort of vehicles. The introduction briefly acquaints the history and purpose of the suspension. It describes the dynamics of vehicle suspension. It includes distribution, description of the construction and activity of the suspension elements, their use in conventional type of suspension and semi-active suspension system. Further classifies known suspension systems into categories and deeply analyses their properties. The result is a comparison focusing on driving comfort. The last chapter is dedicated to suspension developing trends in near future.

## KEYWORDS

damper, chassis, suspension, conventional suspension, semi-active suspension, comfort



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

Baroš, E. *Srovnání semi-aktivních a konvenčních systémů odpružení vozidel z pohledu jízdního komfortu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Suchý.



## ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Jana Suchého s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 21. mája 2015

.....

Eduard Baroš



## **POĎAKOVANIE**

Týmto by som rád poďakoval pánovi Ing. Janovi Suchému za možnosť spracovať túto zaujímavú tému pod jeho vedením, za cenné rady a cieľavedomé usmerňovanie, vďaka čomu dosiahla táto práca finálnu podobu. Ďalej by som chcel poďakovať svojej rodine za podporu v štúdiu.



## OBSAH

Úvod .....	9
1 Základné pojmy .....	11
1.1 Dynamika vozidla .....	11
1.1.1 Kmitanie .....	11
1.1.2 Systém odpruženia vozidla .....	13
1.2 Časti podvozku .....	14
1.2.1 Rozdelenie náprav .....	16
2 Prvky odpruženia .....	19
2.1 Pružiny .....	19
2.1.1 Listové pružiny .....	19
2.1.2 Vinuté pružiny tlačné .....	20
2.1.3 Skrutné tyče .....	22
2.1.4 Pryžové a polyuretánové pružiny .....	22
2.1.5 Plynové pružiny .....	23
2.2 Tlmiče .....	26
2.2.1 Tlmiče konvenčného odpruženia .....	26
2.2.2 Tlmiče semi-aktívnych systémov odpruženia .....	33
3 Kategórie odpruženia vozidiel .....	36
3.1 Konvenčné odpruženie .....	37
3.2 Adaptívne systémy odpruženia .....	37
3.2.1 Semi-aktívne systémy odpruženia .....	38
3.3 Aktívne systémy odpruženia .....	45
4 Porovnanie semi-aktívnych a konvenčných systémov .....	46
5 Budúcnosť odpruženia .....	47
5.1 Active Body Control .....	47
5.2 MRC Bose .....	48
Záver .....	49
Zoznam použitých skratiek a symbolov .....	53
Zoznam obrázkov .....	54



## ÚVOD

Automobil, vynález, ktorý človeku uľahčuje život už viac ako storočie. Od počiatku jeho vzniku prešiel rozsiahlymi zmenami, aby sa prispôbil požiadavkám spoločnosti. V súčasnosti automobily prekonávajú väčšie vzdialenosti, čím sa zvyšuje únava cestujúcich a narastá pravdepodobnosť vzniku nehody. Ďalej, dosahujú oveľa vyššie rýchlosti, a so zvyšujúcou sa rýchlosťou začínajú na automobil intenzívnejšie vplyvať negatívne účinky prostredia, ktoré je potreba eliminovať a tým zvyšovať bezpečnosť, zlepšovať jazdné vlastnosti, ekonomiku prevádzky a zmiernovať nežiaduci vplyv automobilu na životné prostredie. Preto je nutné prvky automobilu stále vylepšovať.

Aj zavesenie kolies a odpruženie automobilu prešlo značnou evolúciou. Začalo to od prvého patentu Obadiaha Elliota, využívaného pre koňské povozy, kedy malo každé koleso dve **oceľové listové pružiny** na každej strane a telo vozíka bolo uložené priamo na pružinách spojených nápravami. Tento systém odpruženia sa používa ešte dnes vo väčších vozidlách pre odpruženie zadnej nápravy. V roku 1901, spoločnosť Mors, ako prvá vybavila automobil **tlmičmi** (pneumatickými). Na ňom vyhral Henri Fournier prestížne preteky Paris-to-Berline. Rok 1906 je významným z hľadiska odpruženia vďaka vynájdeniu **vinutých pružín** spoločnosťou Brush Motor Company. V súčasnosti sú vinuté pružiny používané vo väčšine automobilov. V roku 1920 Leyland Motors použila **torzné tyče** v závesnom systéme. Tie boli použité aj spoločnosťou Ford Motor Company v aute Ford Model T. Rok 1922 bol významný objavom **nezávislého zavesenia** predných kolies továrňou Lancia, propagovaný na modeli Lancia Lambda. V dnešnej dobe používa nezávislé zavesenie na všetkých štyroch kolesách väčšina aut.

Postupom času a zvyšovaním nárokov na schopnosti odpruženia, továrne začali hľadať spôsoby, ako vylepšiť konvenčné typy odpruženia. S vývojom elektroniky sa možnosti rozširovali a firmy sa začali zameriavať na jej využitie aj v oblasti odpruženia. V roku 1983 predstavila Toyota na modeli Soarer celosvetovo prvý **semi-aktívny systém odpruženia** pod názvom Toyota Electronic Modulated Suspension a v roku 1986 aj jeho vzduchovú verziu. Do produkčnej fázy však dopracovala semi-aktívny systém odpruženia, v roku 1987, spoločnosť Mitsubishi na modeli Galant a BMW na športovom modeli M3. Na americkom kontinente bol prvým automobilom osadeným semi-aktívnym systémom odpruženia Lincoln Continental (1987). S ďalším významným nápadom prišiel v roku 1989 Citroën. Na modeli XM použil **hydropneumatické pruženie** nazývané Hydractive. Tento systém ťažil z výhod kombinácie hydraulického a pneumatického média. 1991, Mercedes-Benz použil prvý **adaptívny systém odpruženia**, založený na **teórii Skyhook**, vo svojom vrcholovom modeli. V roku 1999 prišiel Mercedes, ako prvý, s plne **aktívnym hydraulickým systémom** odpruženia, ktorý použil na luxusnom kupé CL. Časom sa začalo vývojom nových systémov odpruženia zaoberať viacero výrobcov automobilov. V dnešnej dobe sú tieto systémy schopné prispôsobiť odpruženie takmer každej situácii.

Prečo vlastne vynakladajú výrobcovia automobilov toľko úsilia na vývoj odpruženia? Jeho úlohou nie je len filtrovať nerovnosti, ako sa môže na prvý pohľad zdať.

Potrebujeme, aby udržiavalo pneumatiky v nepretržitom kontakte s vozovkou, aj pri prejazde nerovností, z čoho vyplýva zlepšenie trakcie vozidla. Pretože len pneumatika, ktorá je v dostatočnom kontakte s vozovkou, umožňuje potrebný prenos síl, vďaka čomu môžeme lepšie akcelerovať, meniť smer a efektívnejšie brzdiť. Teda zlepšuje jazdné vlastnosti vozidla, čím pozitívne vplyva na bezpečnosť jazdy. Zvyšuje efektívnosť vozidla, životnosť karosérie a jednotlivých dielov, a tým zlepšuje ekonomiku prevádzky. Ďalej, výrazne ovplyvňuje pohodlie cestujúcich, jazdný komfort, čo zvyšuje kvalitu jazdy a znižuje únavu cestujúcich.



Eliminovaním otrasov karosérie, dokonca pozitívne vplýva na ich zdravie - chráni medzistavcové platničky pasažierov.

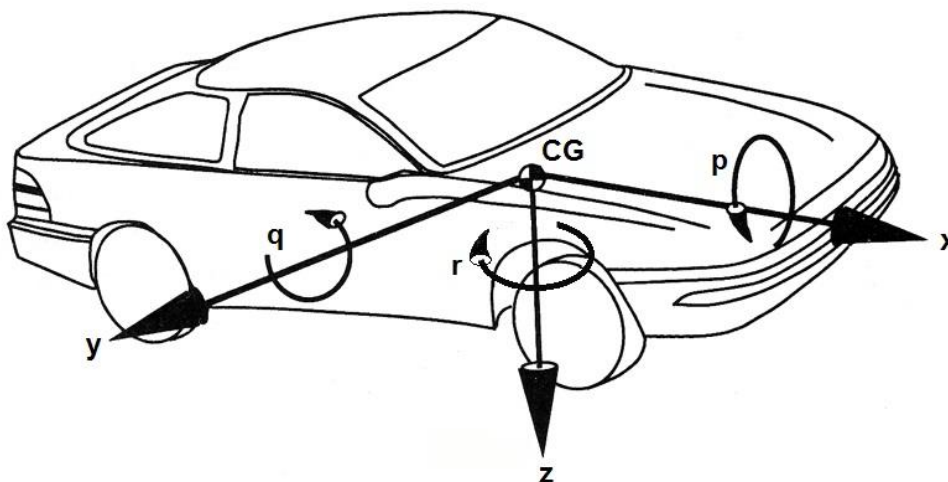
Odpruženie vozidla ovplyvňuje jazdu z viacerých hľadísk. V tejto bakalárskej práci budú jednotlivé typy odpruženia hodnotené a porovnávané hlavne z pohľadu jazdného komfortu.



# 1 ZÁKLADNÉ POJMY

## 1.1 DYNAMIKA VOZIDLA

V úvode kapitoly začnem popisom dynamiky vozidla, respektíve pohybov a natočení karosérie, v súradnicovom systéme vozidla podľa SAE.



Obr. 1.1 SAE súradnicový systém vozidla [1]

CG – ťažisko

os x – pozdĺžna os, v rovine symetrie vozidla, smerujúca vpred vzhľadom na vozidlo

os y – laterálna (bočná) os, smerujúca vpravo

os z – vertikálna (zvislá) os, smerujúca dole

p – rýchlosť priečného náklonu (okolo osi x)

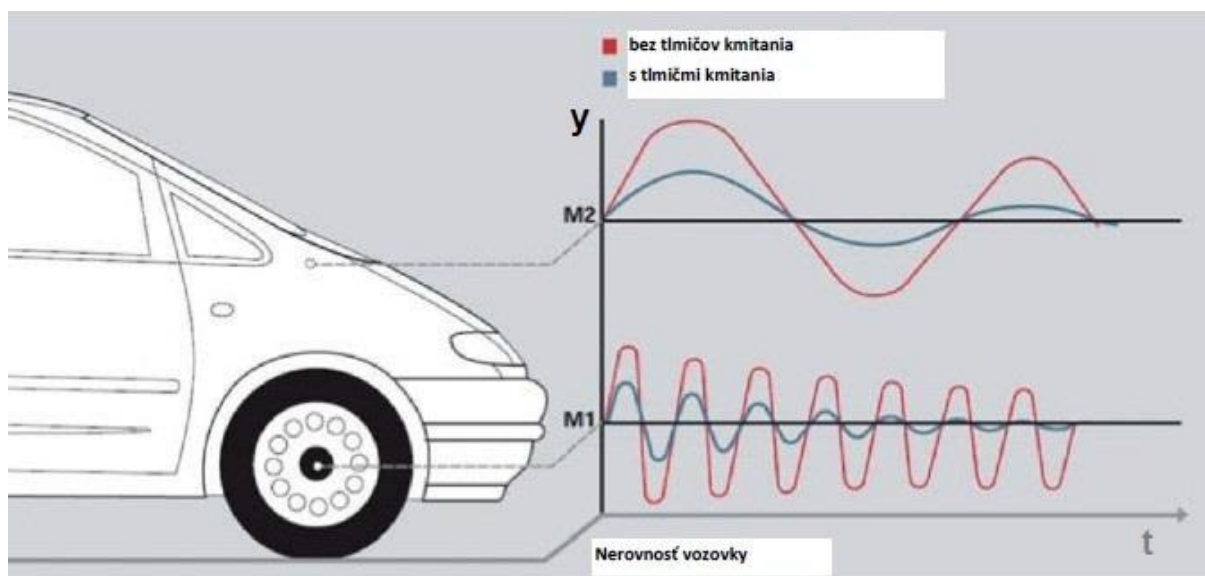
q – rýchlosť pozdĺžneho náklonu (okolo osi y)

r – rýchlosť výchylky (okolo osi z)

### 1.1.1 KMITANIE

Pri prejazde vozidla cez nerovnosti dochádza k rozkmitaniu kolies aj karosérie. Koleso kopíruje nerovnosť, jeho pohyb smeruje ku karosérii, čo spôsobuje stláčanie pružiny. Uvoľnená energia pružiny sa premieňa na zvislý pohyb karosérie smerom nahor, až pokým neprekoná ťažovú silu karosérie silu pružiny.

Vtedy dosiahne karoséria maximálnu hornú výchylku a začne sa pohybovať späť smerom dolu, pokým dosiahne maximálnu dolnú výchylku. Ďalej sa karoséria pohybuje zase smerom hore a kmitá okolo neutrálnej polohy. Kmitanie pokračuje, pokým nie je utlmené vonkajšími vplyvmi. Preto je tlmič neoddeliteľnou súčasťou odpruženia. Rozdiel v amplitúde kmitania kolies a karosérie, bez použitia tlmičov a s tlmičmi, je markantný. Môžete ho vidieť na názornom zobrazení nižšie. [2]



Obr. 1.2 Tlmenie kmitania [3]

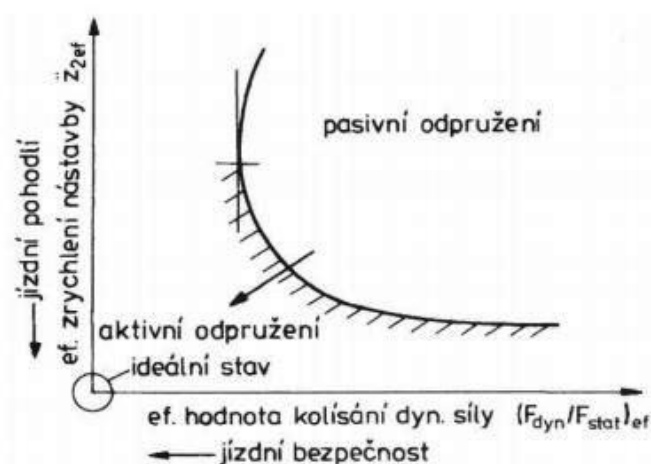
Každé teleso má vlastnú uhlovú frekvenciu kmitov. Dosiahne ju pri budení, bez pôsobenia tlmiacich vplyvov. Stálym pôsobením tejto vlastnej frekvencie na teleso spôsobíme rezonanciu telesa. Jej hodnota závisí od tuhosti a zotrvačnosti systému podľa vzťahu [4]:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K^*}{M^*}} \quad [\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.1)$$

kde  $\omega_0$  je vlastná uhlová frekvencia kmitov,  $K^*$  označuje tuhosť systému a  $M^*$  jeho zotrvačné schopnosti.

Frekvencia vlastného kmitania karosérie je veľmi významným merítkom pohodlia jazdy. Ľudský organizmus najlepšie znáša kmity s frekvenciou 60 až 80 za minútu, čo odpovedá rytmu chôdze. Oveľa vyššia frekvencia je pociťovaná ako nepríjemné rýchle otrasy, no príliš nízka frekvencia môže vyvolať u citlivejších ľudí „morskú nemoc“. [2]

Vlastné frekvencie náprav a karosérie sa líšia približne desaťnásobkom. Preto je voľba tlmenia systému vždy kompromisom medzi jazdným komfortom a bezpečnosťou. Podvozok s mäkkou pružiacou a tlmiacou charakteristikou je lepšou voľbou z hľadiska komfortu a preto je vhodný pre pomalú jazdu v priamom smere. Pri budiacich frekvenciách vozovky, ležiacich v rezonančnej oblasti náprav a karosérie, je výhodnejšie tvrdšie tlmenie. Tým sa zároveň zvyšuje bezpečnosť jazdy. Z dôvodu komfortu by mala byť vlastná frekvencia karosérie nad zadnou nápravou o 10% až 20% vyššia, ako nad prednou nápravou, a malo by to byť nezávisle na zaťažení. Tieto závislosti sú graficky znázornené na obrázku nižšie, kde sú zároveň aplikované na pasívne a aktívne odpruženie. [5] [6]

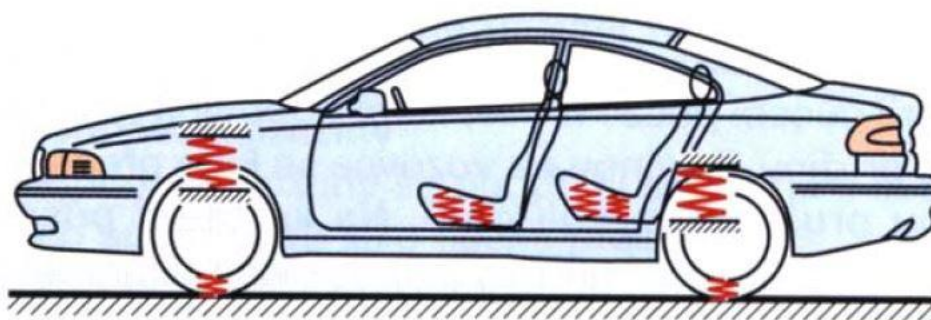


Obr. 1.3 Ciel'ový konflikt medzi jazdnou bezpečnosťou a pohodlím pri návrhu tlmenia/pruženia vozidla [5]

### 1.1.2 SYSTÉM ODPRUŽENIA VOZIDLA

Odpruženie vozidla pozostáva z nasledujúcich častí:

- pneumatiky: pohlcujú kmitanie od malých nerovností vozovky a tým zároveň znižujú výkmit náprav
- hlavné pružiny vozidla: ich funkcia je popísaná v úvode; oddeľujú karosériu od náprav
- pružné sedadlá: zachytávajú kmitanie, ktoré vzniká až za hlavnými pružinami vozidla [2]



Obr. 1.4 Systém odpruženia vozidla [2]

#### NEODPRUŽENÁ HMOTNOSŤ

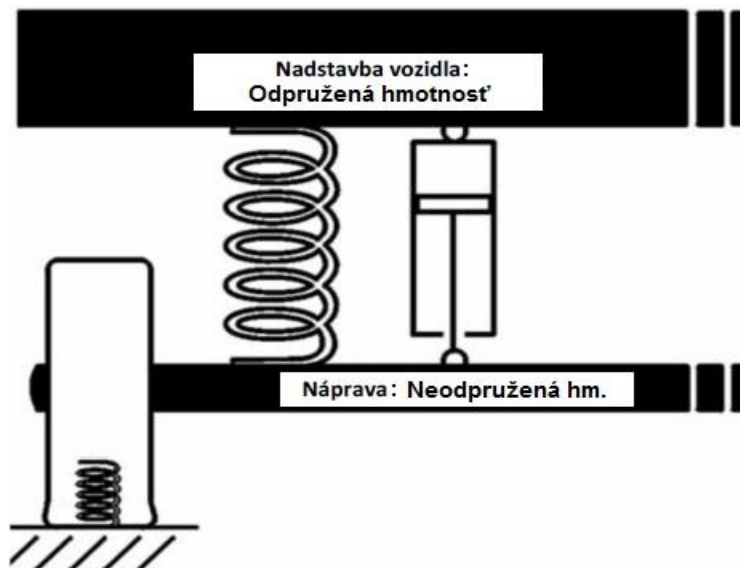
- je hmotnosť častí vozidla až po hlavné pružiny, zahŕňa: kolesá, nápravy, prvky riadiaceho a brzdového systému, čiastočne aj prvky odpruženia a tlmenia

#### ODPRUŽENÁ HMOTNOSŤ

- hmotnosť častí vozidla za hlavnými pružinami



Od pomeru odpruženej hmotnosti k neodpruženej je závislá **kvalita odpruženia**. Čím je hodnota odpruženej hmotnosti vyššia a hodnota neodpruženej hmotnosti nižšia, teda ich pomer je väčší, tým je odpruženie kvalitnejšie. [2]



Obr. 1.5 Model odpruženia [3]

## 1.2 ČASTI PODVOZKU

Medzi hlavné časti automobilu patrí: podvozok, karoséria, hnacia sústava a príslušenstvo s výbavou. Viac sa budem venovať popisu podvozku. Ten je zložený z hlavných prvkov, ktoré sú vyznačené na obr. 1.6 [5]:

### KOLESO S PNEUMATIKOU

Je spojovacím článkom medzi vozidlom a vozovkou. Kolesá spolu s pneumatikami nesú hmotnosť vozidla, posádky a nákladu, zároveň prenášajú hnacie a brzdné momenty. Taktiež sú dôležitým prvkom systému odpruženia vozidla, ako je spomenuté v predchádzajúcej kapitole.

### ZAVESENIE KOLESA

Je spôsob pripojenia kolesa ku karosérie (rámu). Umožňuje vertikálny pohyb kolesa pri pružení a prenáša sily a momenty medzi kolesom a karosériou.

### ODPRUŽENIE A TLMENIE

Zmierňuje prenos kmitania z náprav na karosériu. Tým chráni posádku, náklad, ale aj celé vozidlo pred nežiaducimi otrasmi.

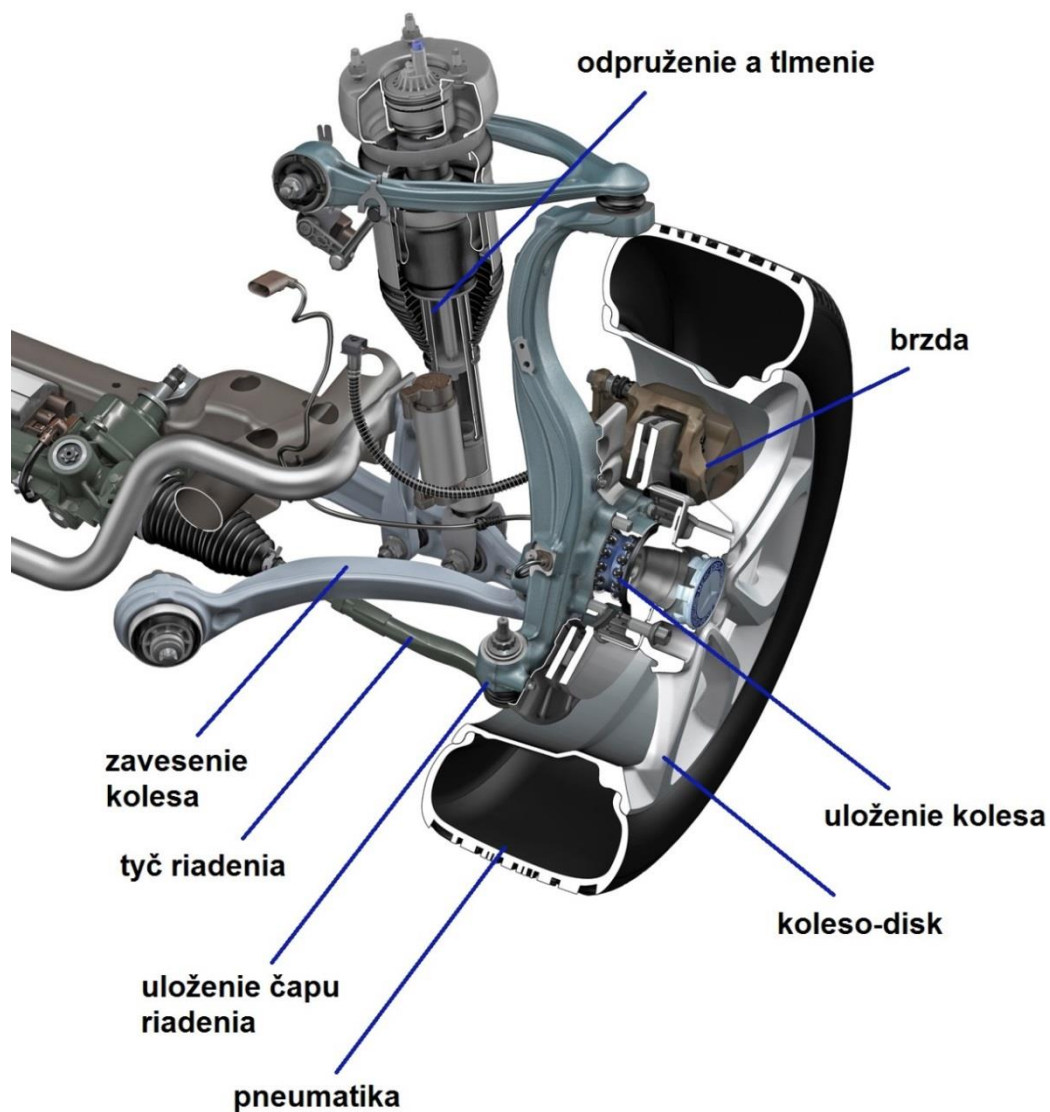
### RIADENIE

Umožňuje udržanie smeru jazdy, alebo jeho zmenu.



## BRZDOVÁ SÚSTAVA

Umožňuje zníženie rýchlosti vozidla v pohybe, jeho zastavenie a zaistenie polohy stojaceho vozidla.



Obr. 1.6 Predná náprava, lichobežníková, semi-aktívny systém odpruženia AIRmatic (Mercedes-Benz trieda C (W205)) [7]



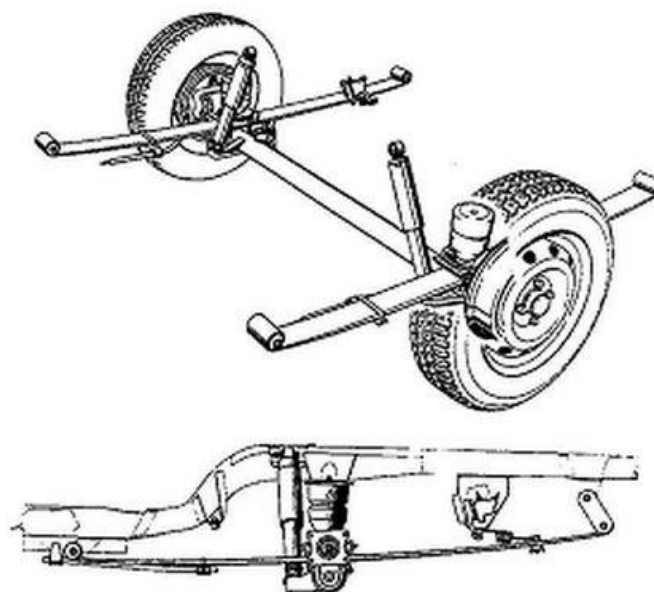
### 1.2.1 ROZDELENIE NÁPRAV

Tab. 1.1 Rozdelenie náprav

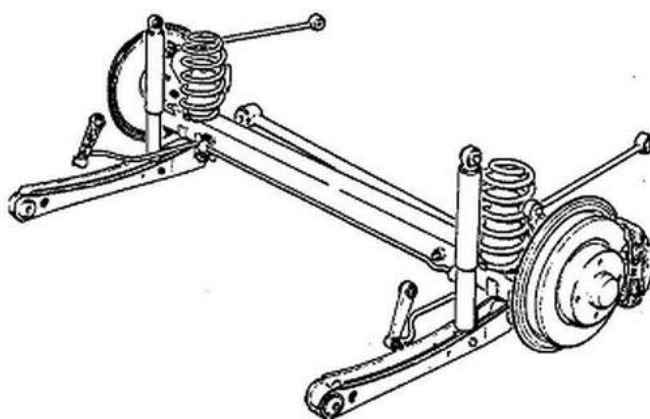
Tuhé	De-Dion	Výkyvné (nezávislé zavesenie)
Mostová (listové pružiny)		Lichobežníková
Pozdĺžne ramená a 1 priečna (Panhardská tyč)		McPherson
Wattov priamovod		Kľuková náprava
		Kyvadlová náprava
		Uhlová náprava
		Viacprvková náprava (Multilink)

#### TUHÉ NÁPRAVY

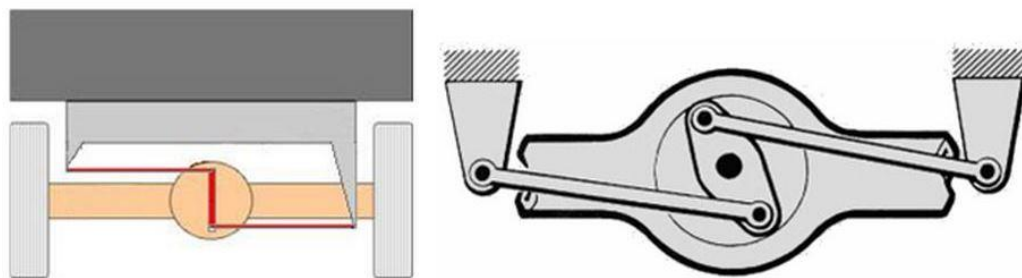
Obe kolesá sú pevne spojené, preto nedochádza k zmene rozchodu kolies. Náprava je odpružená ako celok vzhľadom k vozidlu. Hlavné typy tuhých náprav sú zobrazené na obrázkoch 1.7 až 1.9. [2]



Obr. 1.7 Mostová náprava s listovými pružinami [8]



Obr. 1.8 Náprava s pozdĺžnymi a jedným priečnym (Panhardská tyč) [8]



Obr. 1.9 Wattov priamovod [8]

## DE-DION

Náprava spája prvky tuhej a výkyvnej nápravy. Používa sa ako hnacia (viď obr.1.10). [2]



Obr. 1.10 Náprava De-Dion [8]



### VÝKYVNÉ NÁPRAVY (NEZÁVISLÉ ZAVESENIE)

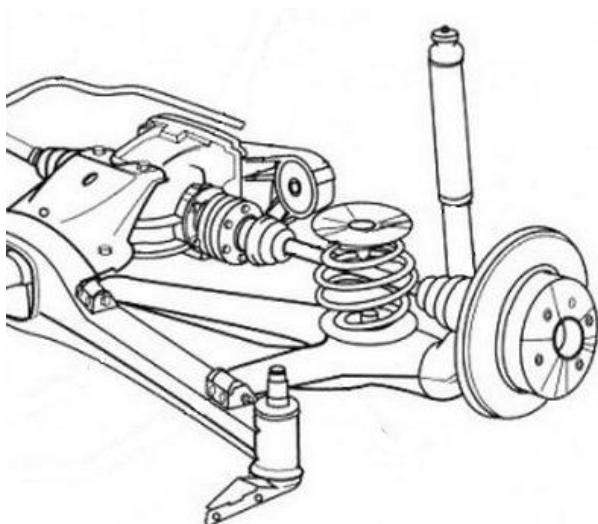
Neodpružená hmota týchto náprav je v porovnaní s tuhými nápravami výrazne menšia. Kolesá sú zavesené samostatne (nezávisle na sebe). Lichobežníková náprava (viď obr.1.6) a zavesenie typu McPherson sa používajú na uchytenie predných kolies. Ako zadná náprava je najpoužívanejší typ kľukovej nápravy. Viacprvková náprava (Multilink) je vhodná pre zavesenie predných i zadných kolies. Obrázky niektorých výkyvných náprav sú uvedené nižšie. [2]



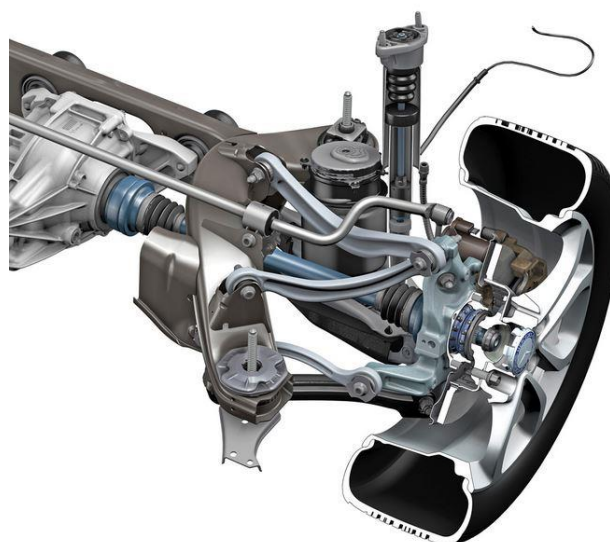
Obr. 1.11 Predná náprava McPherson (Audi S3 Sportback) [9]



Obr. 1.12 Zadná kľuková náprava (VW Polo) [10]



Obr. 1.13 Zadná kyvadlová (uhlová) náprava (BMW 3, 1994) [11]

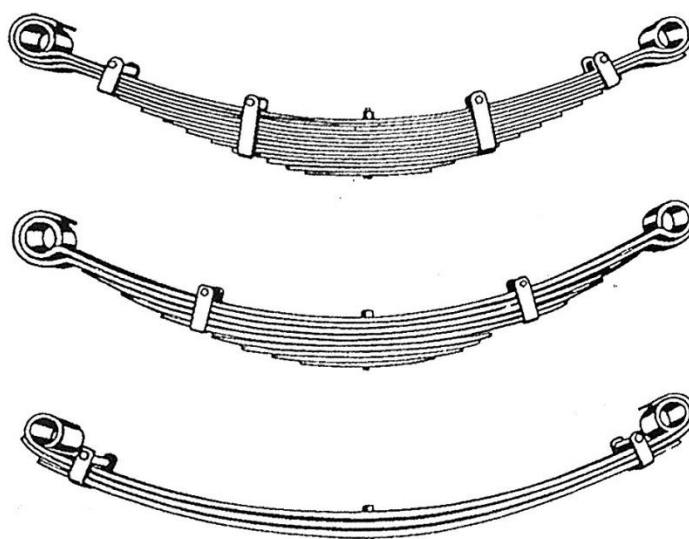


Obr. 1.14 Viacprvková zadná náprava (Mercedes-Benz trieda C (W205)) [7]





Deformáciou listových pružín sa listy vzájomne pozdĺžne posúvajú a na stykových plochách vzniká suché trenie. Prejavuje sa zvýšeným odporom pružiny proti deformáciám, teda tlmením v pružiacej sústave. V prípade vniknutia nečistôt medzi listy sa trenie rapídne zvýši, čo situáciu ešte zhorší. Trenie môžeme znížiť vložkami medzi listy pružiny. Suché trenie sa dá eliminovať aj znížením počtu listov – ideálne jeden. Pre dosiahnutie vlastností nosníka stálej pevnosti u jednolistovej pružiny konštantnej šírky, je potreba ju po stranách vyvalcovať do parabolického tvaru. Získame tým oproti bežnej listovej pružine úsporu hmotnosti pri rovnakej únosnosti. Názornú ukážku riešenia konštrukcie listovej pružiny môžete vidieť na obr. 2.2, kde sú porovnané tri rôzne varianty pre rovnaké maximálne zaťaženie 52kN. Horná pružina nemá rozperné vložky, z čoho vyplýva vysoká miera opotrebenia a hmotnosť 124kg (14 listov). Pružina s vložkami v strede má hmotnosť 87kg (9 listov) a spodná parabolická pružina len 58kg (3 listy). [5] [6]



Obr. 2.2 Porovnanie konštrukcií listových pružín [5]

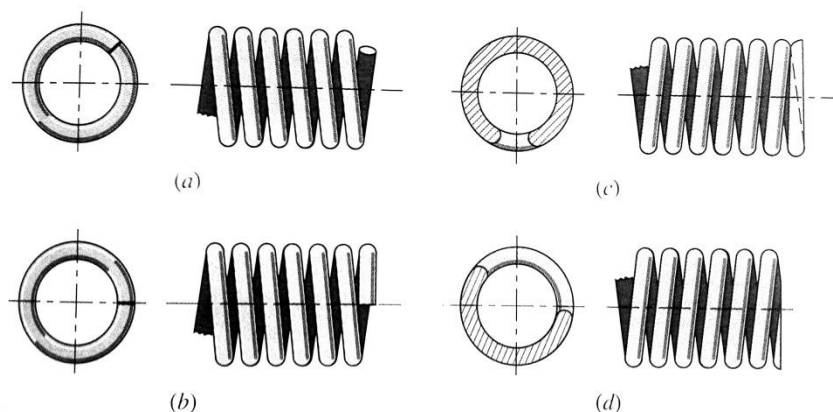
Pružiny tohto typu majú približne lineárnu deformačnú charakteristiku, ale frekvencia zvislého kmitania klesá s rastúcim zaťažením. Pre zníženie citlivosti funkcie odpruženia na záťaž, sa pružiny upravujú s cieľom získania progresívneho účinku – pružiacia sila narastá rýchlejšie ako priehyb a frekvencia kmitania klesá s rastúcim zaťažením pomalšie. [5]

### 2.1.2 VINUTÉ PRUŽINY TLAČNÉ

Vinuté pružiny sa využívajú hlavne u osobných automobilov, prípadne u ľahších nákladných automobilov. Tento typ pružín je najpoužívanejší v automobilovom priemysle a to hlavne pre veľký počet výhod. Nevzniká v nich suché trenie, nevyžadujú žiadnu údržbu a medzi ich ďalšie výhody patria tiež malé rozmery, nízka hmotnosť a jednoduché uloženie (bez kĺbov). K nevýhodám patrí nemožnosť viesť nápravu a absencia tlmiacich účinkov, preto sa používajú v kombinácii s tlmičmi. Pri navrhovaní pružiny sa volí stúpanie také, aby pri maximálnom stlačení pružiny bola zaistená bezpečná vôľa medzi závitmi. Inak by pružina prenášala rázy z vozovky na karosériu a spôsobovala hluk. Závit pružiny môžeme rozdeliť na činné a záverné (tvoria oporné plochy na koncoch pružiny). Činné závit pružiny menia uhol stúpania pri funkčnej deformácii pružiny. Na oporné plochy záverných závitov pružiny



sa pokladajú pryžové podložky, s cieľom znížiť prenos hluku. Obrázok 2.3 zobrazuje rôzne varianty koncov pružín. [3] [12]



Obr. 2.3 Vyhotovenia koncov vinutých tlačných pružín: [12]  
 a) otvorený neobrobený  
 b) uzavretý neobrobený  
 c) uzavretý obrobený  
 d) otvorený obrobený

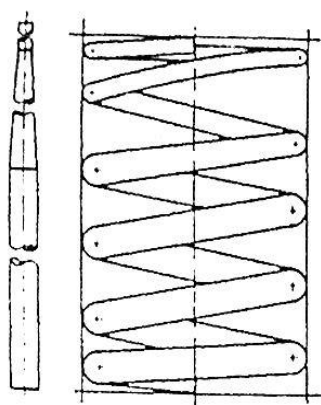
Tuhosť vinutých (skrutkovitých) tlačných pružín je definovaná vzťahom [12]:

$$k = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot n} \quad [-] \quad (2.3)$$

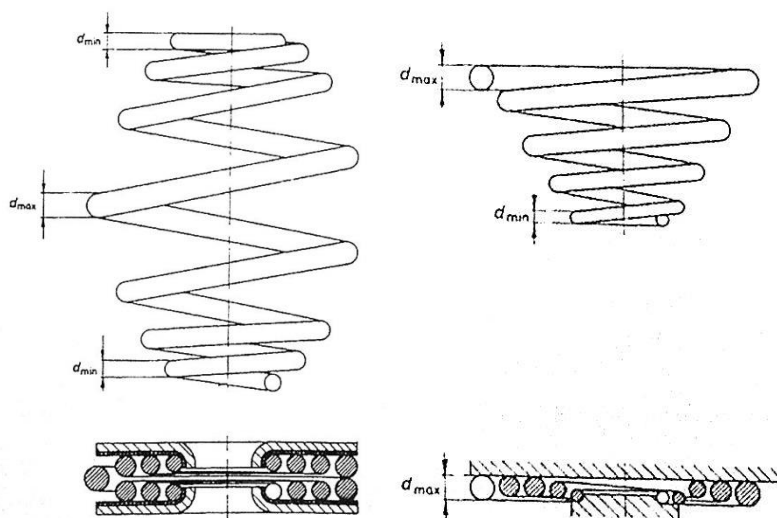
kde:  $d$  – priemer drôtu  
 $D$  – výpočtový priemer pružiny  
 $G$  – modul pružnosti v šmyku  
 $n$  – počet činných závitov

Deformačná charakteristika týchto pružín je lineárna. Pre dosiahnutie progresivity sa používajú nasledovné spôsoby [2]:

- premenlivé stúpanie závitov
- premenlivý priemer drôtu – jednostranne (obr. 2.4), alebo obojstranne kónický
- kombinácia oboch predchádzajúcich (miniblokové progresívne pružiny) (obr. 2.5)
- doplnením pružiny pryžovým blokom



Obr. 2.4 Vinutá pružina s premenlivým priemerom drôtu (jednostranne kónický) [5]



Obr. 2.5 Miniblokové progresívne pružiny so súdočkovým a kuželovým tvarom [5]



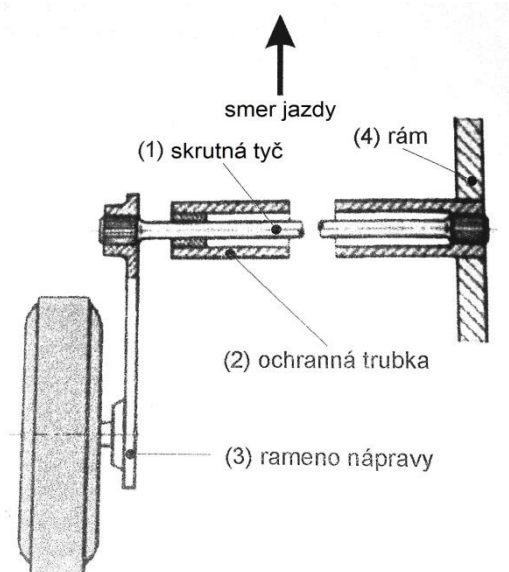
Vinuté tlačné pružiny sa na vozidle umiestňujú medzi nápravu a karosériu, alebo tvoria časť nápravy. Príklady umiestnení na náprave sú na obrázkoch 1.11 až 1.13.

### 2.1.3 SKRUTNÉ TYČE

Odpruženie nastáva skrúcaním tyče, najčastejšie kruhového prierezu, po jej dĺžke. Tyč je povrchovo upravená brúsením na konštantný priemer. Na koncoch sa mení kruhový prierez na šesťhran, štvorhran, prípadne sa vytvorí jemné drážkovanie. Ochranu tyče zabezpečuje plastový obal, prípadne oceľová trubka, ktorá zároveň bráni namáhaniu tyče na ohyb. Pri montáži sa vytvorí predpätie, odpovedajúce statickému zaťaženiu vozidla.

Tuhosť tyče je závislá od priemeru a dĺžky. Pre dosiahnutie progresivity býva tyč doplnená trubkou, ktorá sa pri skrútení skrutnej (torznej) tyče o určitý uhol, začne skrucovať spolu s ňou, čím sa zvýši tuhosť odpruženia. Umiestnenie na vozidlo môže byť realizované pozdĺžne i priečne.

Medzi výhody tohto typu odpruženia patrí jednoduchosť konštrukcie a minimálne požiadavky na údržbu. Využitie materiálu je lepšie ako u listových, ale horšie ako u vinutých pružín, teda priemerné. Skrutná tyč je nevhodná pre vedenie nápravy, pretože by dochádzalo k nežiaducemu namáhaniu na ohyb. Nevykazuje ani žiadne tlmiace účinky. [2] [5]



Obr. 2.6 Umiestnenie skrutnej tyče na vozidle [2]

### 2.1.4 PRYŽOVÉ A POLYURETÁNOVÉ PRUŽINY

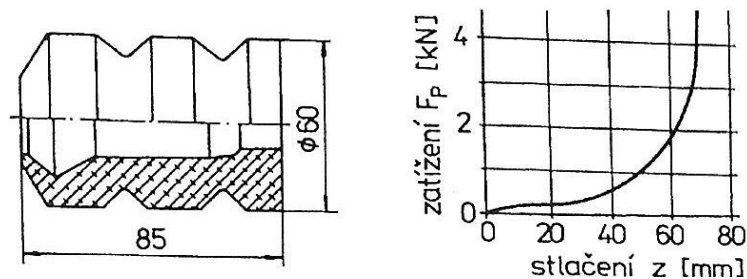
Pružiny využívajú elastické vlastnosti **pryže**, ktorá môže byť prírodná, alebo syntetická. Môže byť aplikovaná v rôznych konštrukčných prevedeniach s namáhaním na tlak, strih alebo krut (principiálne ako skrutná tyč). Aj z toho dôvodu je pryž použitá prakticky v každom motorovom vozidle ako materiál prídavných elementov odpruženia, dorazových blokov, ale aj ako pružiaci prvok silentblokov uloženia motora, karosérie, či iných dielov hnacích skupín a podvozku.

Medzi výhody tohto materiálu patri: nízka cena, dlhá životnosť, žiadna údržba a vysoká miera vlastného tlmenia. Použitie pryže má aj veľa nevýhod, napr.: citlivosť na teplotu, vlhkosť, chemikálie a olej. Po určitom čase zaťaženia sa zníži statická únosnosť elementu a stárnutím



sa degradujú jeho mechanické vlastnosti (modul pružnosti, medza únavy) a schopnosť absorpcie hluku. [2] [5]

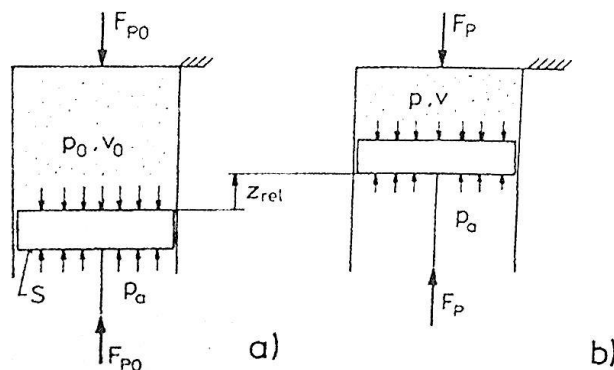
Penový **polyuretán** je ďalší vhodný materiál na výrobu prídavných pružín, ktorého hlavnou výhodou je veľká pružnosť (dovoľuje stlačenie až 80% bez poškodenia). Výborne odoláva účinkom olejov, benzínu, vplyvom atmosféry a znáša teploty od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Je obrobiteľný a dá sa jednoducho prilepiť na kovové dielce, i keď najlepšie spojenie dosahuje zaliatím pri výrobe. Pružiny z tohto materiálu majú vysokú progresivitu deformačnej charakteristiky (obr. 2.7) a zaručujú veľmi mäkké prepruženie. [5]



Obr. 2.7 Pružina z penového polyuretánu a jej deformačná charakteristika [5]

### 2.1.5 PLYNOVÉ PRUŽINY

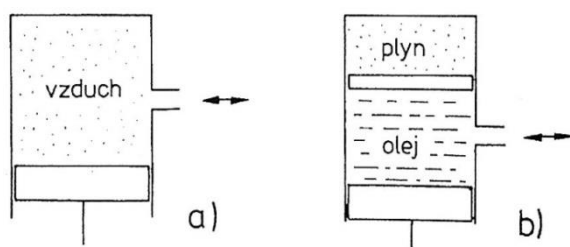
Plynové pružiny využívajú pre pruženie základnú vlastnosť plynov – stlačiteľnosť. Na obrázku 2.8 možno vidieť znázornené pôsobenia tlakov na zjednodušenom piestovom modeli plynovej pružiny.



Obr. 2.8 Zjednodušený piestový model plynovej pružiny [5]

Z fyzikálneho hľadiska možno usúdiť (zanedbaním atmosférického tlaku), že pri stálom objeme plynu sa zmenou zaťaženia nemení vlastná frekvencia netlmeného systému. Preto, ak chceme udržiavať karosériu vozidla v konštantnej vzdialenosti od vozovky, nezávisle na zaťažení, je nutné hmotnosť plynu – teda jeho objem, regulovať. To je možné :

- zmenou hmotnosti plynu pri stálom, uzavretom objeme – **vzduchové (pneumatické) odpruženie**
- pričerpaním kvapaliny nad piest, pričom hmotnosť plynu nad piestom zostáva zachovaná – **hydropneumatické odpruženie** [5]

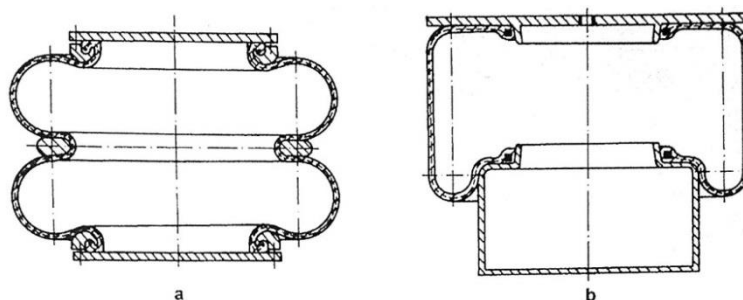


Obr. 2.9 Princíp plynových pružín [5]:  
 a) vzduchová  
 b) hydropneumatická

**Vzduchové pružiny** majú uzavretý priestor, preto sa najčastejšie používajú konštrukcie, kde je pružina tvorená pružným mechu (obr. 2.10 – vlnovce, vaky), alebo piestom s membránou. Sú naplnené vzduchom, alebo dusíkom.

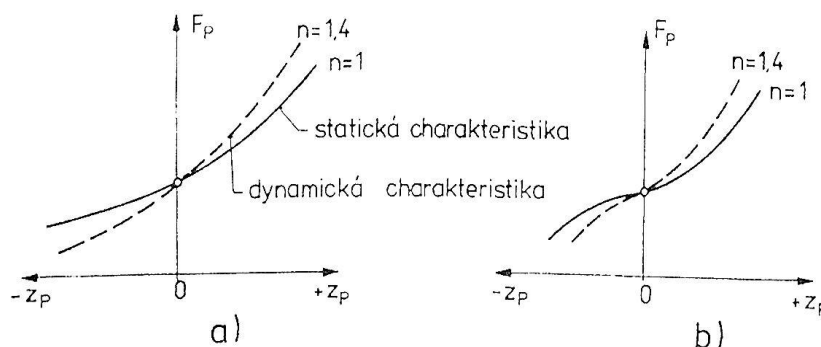
Najčastejšie sa používajú vlnovcové pružiny. Pryžový vlnovec je spevnený kordovými vložkami, je veľmi pevný a odolný proti prerazeniu. Stena vlnovca je tenká a pružná, teda nemá takmer žiadny podiel na nosnosti pružiny. Tá je závislá hlavne na pretlaku. Pri pružení vlnovcových pružín dochádza len k ohybu stien vlnovca, z čoho vyplýva ich vysoká životnosť (cca 500 000 km). U vakových pružín závisí životnosť hlavne na kvalite materiálu vaku a vhodnom tvare piestu, pretože pri pružení u nich dochádza k odvaľovaniu vaku po pieste, čo spôsobuje značné deformácie. [2] [5]

Obr. 2.10 Vzduchové pružiny [5]:  
 a) vlnovcová  
 b) vaková



Progresivitu dosahujeme reguláciou tlaku prostredníctvom regulačného ventila, ktorým je do mechu doplnený vzduch. Týmto spôsobom je možné udržiavať konštantnú svetlú výšku vozidla. Z obrázku 2.11 je zrejмый rozdiel deformačných charakteristík vlnovcovej a vakovej pružiny. Statická charakteristika platí pre izotermický dej (polytropický exponent  $n=1$ ) a dynamická pre dej polytropický ( $n=1,4$ ) – najlepšie vystihuje reálne podmienky. [2] [5]

Obr. 2.11 Deformačné charakteristiky vzduchových pružín [5]: a) vlnovcová b) vaková



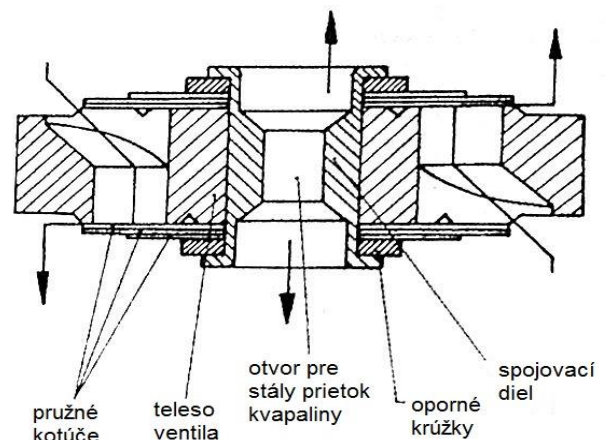
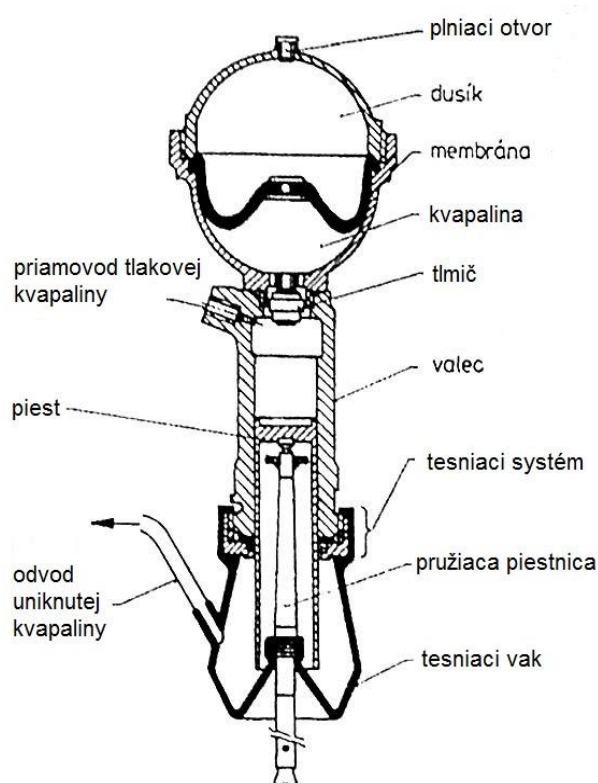
Vzduchové pružiny nemajú schopnosť viesť nápravu – túto funkciu preberajú pozdĺžne a priečne výkyvné ramená, prípadne stabilizátor. Pre absenciu tlmiačich účinkov sa montujú s tlmičom. Vysoká konštrukčná zložitosť ich radí pre použitie hlavne v luxusnejších osobných, alebo v nákladných automobiloch. Možnosti regulácie vzduchových pružín sú riešené v kapitole 3.2.1 .



**Hydropneumatická pružina** pracuje s konštantnou hmotnosťou pružiaceho plynu (dusík). Najčastejšie je používaná ako súčasť semi-aktívneho systému odpruženia vozidiel značky Citroën (Hydractive). Skladá sa z dvoch častí, z valca a skrine, ktorá je k nemu pripojená. Skriňa má guľový tvar a v jej strede je membrána, ktorá oddeľuje pružiaci plyn a tlakovú kvapalinu. Tá prenáša vibrácie do gule, kde pôsobia na membránu a plynovú komoru, v ktorej sú pohľtené. Tým je nahradená funkcia pružiny.

V pryžovej manžete sa zhromažďuje kvapalina, ktorá unikne tesnením v spodnej časti valca. Kvapalina je odvádzaná do nádrže hydraulickej sústavy. Ďalšou úlohou pryžovej manžety je ochrana pružiacej jednotky od nečistôt.

Veľkou výhodou tohto spôsobu odpruženia je **schopnosť tlmenia**, ktorú umožňuje dvojčinný ventil v spodnej pologuli na vstupe do valca (obr. 2.13). [5]



Obr. 2.12 Tlmiaci ventil hydropneumatickej pružiacej jednotky Hydractive [5]

← Obr. 2.13 Hydropneumatická pružiacia jednotka Hydractive [5]

#### Popis činnosti tlmiaceho ventilu:

Pri pohybe piestu nahor, je kvapalina tlačaná pravým otvorom a zdvíha horné pružné kotúče – v činnosti je výtlačný ventil. Pri pohybe piestu smerom dolu, sa otvára sací ventil (otvor naľavo), ktorého pružné kotúče majú vyššiu tuhosť. Takto získame rozdielne tlmenie pri stláčaní a roztáhovaní pružiny (podobné dvojčinným teleskopickým tlmičom). Horná časť hydraulického ventila obsahuje prípojku pre samočinnú reguláciu svetlej výšky automobilu.

Hydropneumatické odpruženie a jeho možnosti sú detailnejšie popísané v kapitole 3.2.1. [5]

Hydropneumatická jednotka je rozmerovo výrazne menšia ako jednotka vzduchového pruženia, pretože v nej vznikajú oveľa vyššie tlaky, čo je zároveň i nevýhodou. Pre vysoký tlak dochádza k úbytku plynu, ktorý difunduje cez membránu do kvapaliny. Kvôli požiadavku na vysokú tesnosť valca pružiny je nutné utesniť priestor zátkou, ktorá je pritlačená na ojnicu značnou silou. Tak vznikajú straty trením. [5]



## 2.2 TLMIČE

Tlmič je neoddeliteľnou súčasťou zavesenia v prípade použitia odpruženia, ktoré tlmenie neposkytuje (vinuté pružiny). Jeho pôsobením dochádza k tlmenému kmitaniu okolo rovnovážnej polohy (obr. 1.2, str. 12). Priaznivo ovplyvňuje bezpečnosť jazdy a jazdný komfort tým, že tlmí nárazy a kmitanie, čím vlastne odoberá mechanickú energiu a mení ju na inú formu energie (teplo). Energia je pohlcovaná **hydraulickým** odporom pri prietoku vhodnými ventilmi a je závislá na rýchlosti pohybu piestu. V dnešnej dobe sa používajú najmä **teleskopické tlmiče** dvojplášťové, alebo jedноплаšťové. [5]

### 2.2.1 TLMIČE KONVENČNÉHO ODPRUŽENIA

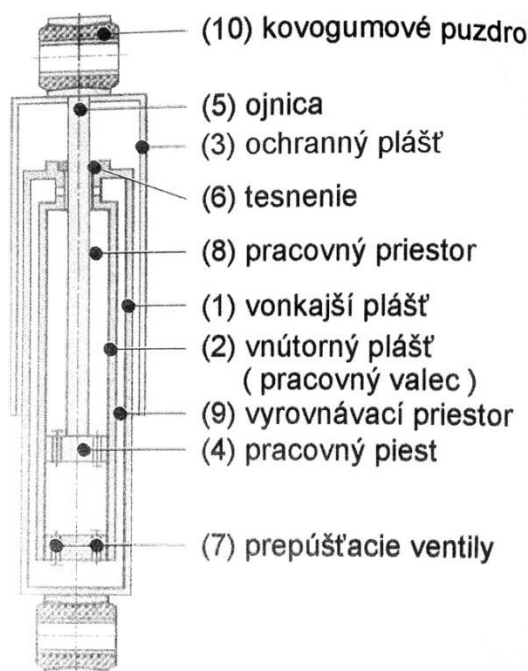
Jedná sa o bežné tlmiče so stálym tlmiacim účinkom, prípadne premenlivým v závislosti na polohe piesta v pracovnom valci (PSD, DCD tlmiče). Poskytujú štandardný komfort a nie sú nijak (elektronicky) riadené na základe aktuálnych podmienok jazdy – to je už záležitosťou pokročilejších tlmičov pre semi-aktívne systémy odpruženia (kap. 2.2.2).

#### 2.2.1.1 DVOJPLÁŠŤOVÝ TELESKOPICKÝ TLMIČ

**Kvapalinové tlmiče** môžu byť konštruované len ako dvojplášťové. Princíp funkcie takéhoto tlmiča bude vysvetlený za pomoci schémy (obr. 2.14).

Pohybom nápravy ku karosérii dochádza k pretláčaniu oleja ventilmi v pieste (4) z priestoru pod piestom do priestoru nad ním. Pracovný priestor sa znižuje o objem ojnice (5) a prebytočný olej je vytlačенý cez prepúšťací ventil (7) do vyrovnávacieho priestoru (9). Ten sa nachádza medzi vnútorným (2) a vonkajším (1) plášťom a zvrchu je spojený s atmosférou. Vyrovnávací priestor taktiež vyrovnáva objemové rozdiely oleja závislé na teplote.

Pohybom nápravy od karosérie je olej pretláčaný z priestoru nad piestom do priestoru pod ním a zároveň je dopĺňaný prepúšťacím ventilom z vyrovnávacieho priestoru. Princíp funkcie tlmiča pri kompresii a odskoku je znázornený na obrázku 2.21 . [2]



Obr. 2.14 Dvojplášťový kvapalinový tlmič [2]



Obr. 2.15 Princíp funkcie dvojplášťového tlmiča [14]:  
a) kompresia  
b) odskok



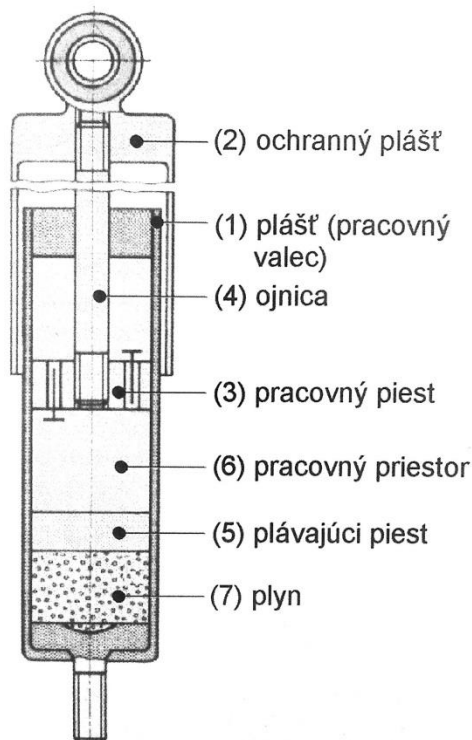
Pre zabezpečenie správnej funkcie tlmiča je nutné, aby bol pracovný priestor dokonale vyplnený olejom (bez vzduchových bublín). Vniknutie vzduchu do pracovného priestoru môže spôsobiť kolísanie tlmiacej sily, teda zhoršenie účinku tlmiča. Zavzdušnenie môže nastať pri veľmi šikmej polohe tlmiča. Vtedy sa môže vzduch, nachádzajúci sa vo vyrovnávacom priestore nad hladinou oleja, dostať cez prepúšťací ventil do pracovného priestoru. Preto sa odporúča použitie dvojplášťových tlmičov do maximálneho sklonu  $45^\circ$ . K neželanému zavzdušneniu môže dôjsť aj pri dlhšom prerušení prevádzky vozidla (počas noci), kedy sa chladnutím oleja zmenší jeho objem, a keďže piest je v pokoji – prietokové ventily sú uzavreté, vytvoria sa nad piestom vzduchové bubliny. To sa prejaví na začiatku ďalšej jazdy, pokiaľ sa vzduch nevytlačí do vyrovnávacieho priestoru. Na odstránenie tohto nedostatku sa pridáva k tlmiču malý zásobník s olejom, ktorý je doplňovaný pri chladnutí tlmiča. [6]

Tieto tlmiče sa vyrábajú aj ako **plynokvapalinové**. To znamená, že priestor nad olejom nebýva spojený s atmosférou, ale je vyplnený dusíkom. Tlak dusíka býva v rozmedzí 0,2 MPa až 0,8 MPa, takže tlmič pracuje ako nízkotlakový. [2]

### 2.2.1.2 JEDNOPLÁŠŤOVÝ TELESKOPICKÝ TLMIČ

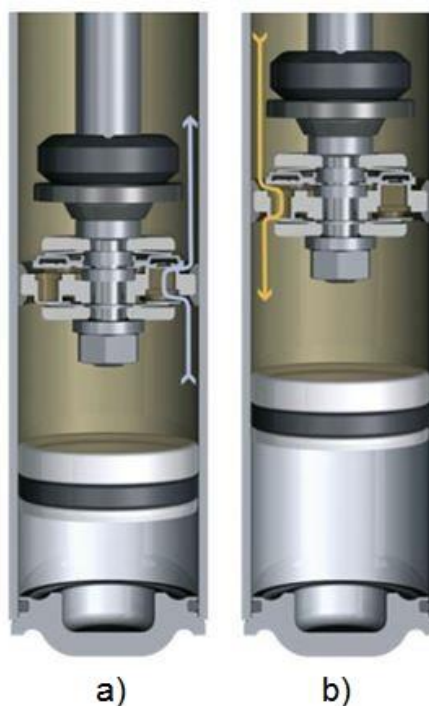
Tieto tlmiče fungujú na podobnom princípe ako dvojplášťové, tj. pohybovú energiu pohlcujú trením kvapaliny, ktoré vzniká jej škrtením pri pretekaní cez ventily tlmiča.

Jednoplášťové tlmiče sú plynokvapalinové. Od kvapalinových (dvojplášťových) tlmičov sa líšia hlavne absenciou vyrovnávacej komory (obr. 2.16). Zmeny pracovného priestoru tlmiča sa vyrovnávajú zmenou objemu plynu (7) pod plávajúcim piestom, ktorý je voľne posuvný vo valci (5). Tlak plynu býva v rozmedzí 2 až 3 MPa – tlmič pracuje ako vysokotlakový. To zabraňuje peneniu kvapaliny pri prietoku ventilmi. Taktiež rozdiel tlaku v oboch komorách býva minimálny. Tieto fakty zvyšujú citlivosť tlmiča aj na veľmi malé zdvihy, z čoho plynie zlepšenie jazdného komfortu posádky, ale i aktívnej bezpečnosti vozidla. Funkcia tlmiča je zrejmä z obrázku 2.23. [2] [5]



Obr. 2.16 Jednoplášťový plynokvapalinový tlmič [2]

Obr. 2.17 Princíp funkcie  
jedenplášťového tlmiča [14]:  
a) kompresia  
b) odskok



Tlmiče tohto typu môžu fungovať aj bez plávajúceho piestu – povrch kvapaliny je priamo v styku s plynom. Zmiešanie týchto dvoch médií by negatívne ovplyvnilo funkciu tlmiča, preto je nutné tomu zabrániť. Dá sa to použitím odrazovej priečky, alebo tzv. ukludňovacím piestom. Tieto riešenia upokojia pohyb kvapaliny v blízkosti rozhrania kvapalina-plyn. [5]



Hlavné výhody jednoplášťových tlmičov v porovnaní s dvojplášťovými sú [5] [14]:

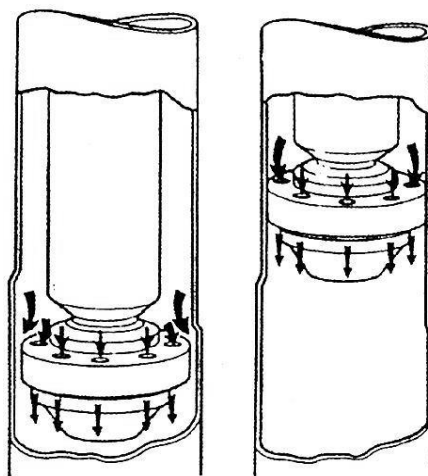
- väčší priemer pracovného piestu pri rovnakom vonkajšom priemere → nižšie pracovné (dynamické) tlaky v kvapaline
- nižšia hmotnosť
- lepšia funkcia pri kmitavom pohybe s vyššími frekvenciami a menšími amplitúdami (vnútorný pretlak v kvapaline zabraňuje jej peneniu)
- lepšie chladenie pracovného priestoru
- nižšia úroveň hluku
- necitlivosť na zmenu objemu kvapaliny pri chladnutí tlmiča v stave pokoja
- ľubovoľná pracovná poloha

Medzi nevýhody jednoplášťových tlmičov môžeme zaradiť problémy s tesnosťou a životnosťou tesnenia, piestnice a vodiaceho puzdra, kvôli zvýšenému treniu. Tieto problémy sú spôsobené výrazným pretlakom tlmičovej kvapaliny – v statickom stave sa rovná pretlaku plynu (u dvojplášťového tlmiča je blízky nule). [5]

### 2.2.1.3 POLOHOVO CITLIVÝ TLMIČ

Počas pokojnej jazdy s malou záťažou pre podvozok je pre dosiahnutie požadovaného komfortu postačujúca mierna tlmiača sila. No pri razantnejšom jazdnom štýle, kedy sú prvky podvozku viac zaťažené, je nutné pre zachovanie kontaktu kolies s vozovkou, zvýšiť prítlačnú silu zvýšením hydraulického odporu kvapaliny tlmiča. Obom požiadavkám dokáže vyhovieť koncepcia polohovo citlivého tlmiča (Position Sensitive Damping – **PSD**) aplikovaná firmou Monroe do tlmičov známych pod názvom SENSE-TRAC (nízkotlakový plynokvapalinový tlmič).

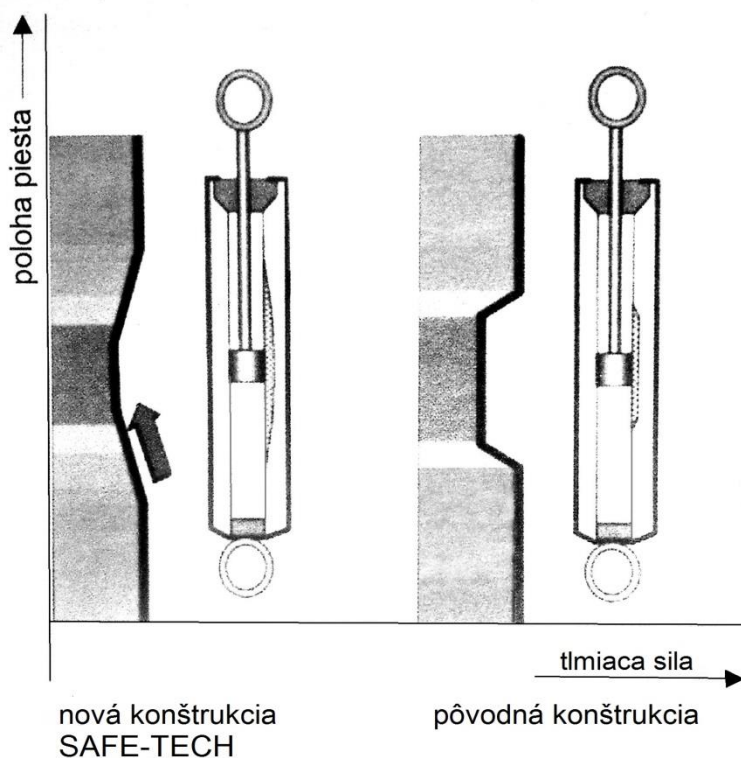
Premenlivý tlmiači účinok je dosiahnutý zväčšením prierezu pracovného valca o drážky obtokového kanála v oblasti strednej polohy piestu. To umožňuje obtok kvapaliny cez regulačné ventily tlmiča a súčasne aj okolo piestu – cez obtokový kanál. To spôsobí zníženie tlmiacej sily a účinnosti tlmiča – komfortná zóna. V tomto mieste sa nachádza piest tlmiča pri malých výchylkách. Pri väčších výkyvoch (prejazd väčších nerovností) sa dostane piest do miesta mimo obtokový ventil (oblasť kontroly), kde sa prierez valca znižuje až na hodnotu menovitého priemeru. Kvapalina musí prechádzať cez regulačné ventily, čím sa zníži obtok a narastá tlmiača sila i účinnosť tlmiča (koleso je intenzívnejšie prtláčané k vozovke). [2] [5]



Obr. 2.18 Piest PSD tlmiča v oblasti obtokového kanála a mimo tejto oblasti [5]

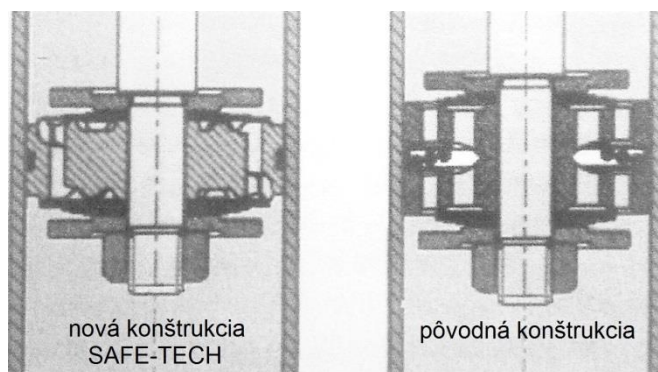


Pri zachovanom princípe tlmenia sa tento tlmič dočkal úpravy. Nová konštrukcia SAFE-TECH mala upravenú obtokovú drážku a prepracovaný ventil. Obtokové drážky sa zmenili hlavne v miestach prechodu z komfortnej zóny, do oblasti s menovitým priemerom. Náhle prechody predchádzajúceho modelu boli upravené na plynule meniace sa. Tým bol dosiahnutý pozvoľnejší prechod medzi strednou oblasťou – mäkkšie tlmenie, a oblasťami okrajovými – tvrdšie tlmenie. Drážka bola tvarovo špeciálne prispôbená podľa typu automobilu, do ktorého bol tlmič montovaný, s ohľadom na komfort a bezpečnosť. [2] [6]



Obr. 2.19 Porovnanie pôvodnej a novej konštrukcie tlmičov SENSE-TRAC [2]

Ventily prešli konštrukčnou zmenou z pôvodného vyhotovenia, kde bol použitý zväzok kotúčov z pružinovej ocele doplnený pružinou, na jednoduchšie vyhotovenie s nižšou hmotnosťou, čo znamená rýchlejšie reakcie tlmiča na nerovnosti vozovky a zníženie hladiny hluku. Nový typ používa aj nový druh oleja, pri ktorom sú tlmiace sily pri teplote  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  len 2,1-krát väčšie než pri teplote  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  (pri starom type bol tento rozdiel 5,4-krát väčší). [2]



Obr. 2.20 Konštrukcia ventilov [2]

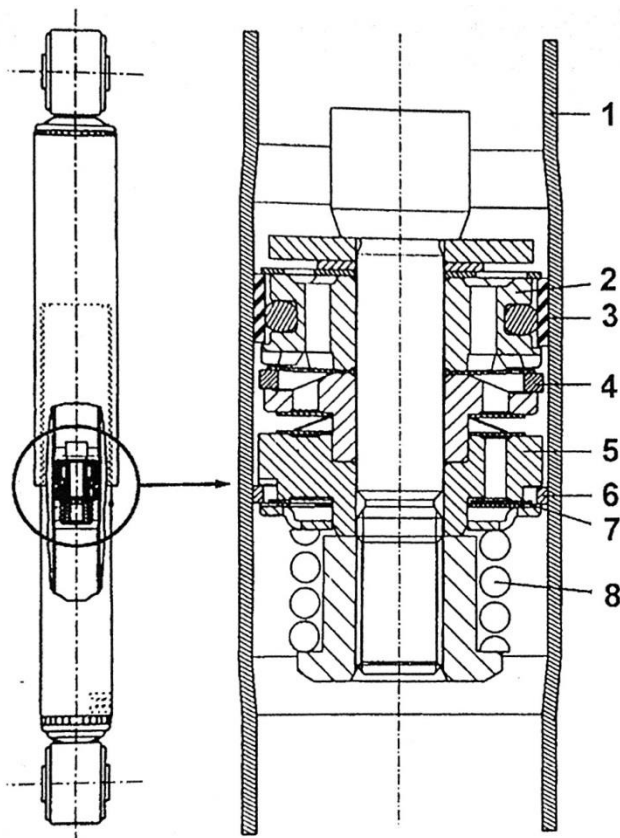


Medzi hlavné výhody PSD tlmičov patri [14]:

- vyššia úroveň komfortu bez zníženia bezpečnosti
- môžu byť použité ako náhrada štandardných tlmičov
- nie sú potrebné žiadne elektrické ovládacie prvky (tlmič pracuje samostatne)
- ekonomické riešenie

#### 2.2.1.4 DCD TLMIČ

Tlmič DCD (Displacement Conscious Damping) je principiálne podobný predchádzajúcemu typu tlmiča. Stredná oblasť pracovného valca má väčší priemer ako krajné časti, avšak je bez obtokového kanálu. Utesnenie piestu vo valci pri rozdielnych priemeroch je zabezpečené špeciálne navrhnutým piestnym krúžkom (3) a jeho uložením na piestnici tlmiča (obr. 2.21). Aj v tomto prípade je účinnosť tlmiča pri polohe piesta v strednej časti valca menšia, ako pri pohyboch v okrajových častiach, kde je priemer menší. Tlmič našiel využitie hlavne vo **veľkopriestorových vozidlách**. Jeho výhodou je schopnosť pracovať aj pri umiestnení našikmo. [2]



Obr. 2.21 Tlmič DCD [5]:

- 1 – tlakový pracovný valec
- 2 – piest
- 3 – pružný tesniaci krúžok
- 4 – tlakový tesniaci krúžok
- 5 – teleso spätného ventilu
- 6 – piestny krúžok
- 7 – planžeta spätného ventilu
- 8 – pružina

#### 2.2.1.5 NIVOMAT

Zaťažením zadnej nápravy (naplnením batožinového priestoru, alebo pri ťahaní prívesu) dochádza k poklesu zadnej časti automobilu v dôsledku stlačenia pružín, čím sa posunie ťažisko automobilu. To zhoršuje ovládateľnosť vozidla a v značnej miere i komfort posádky, navyše dochádza k nakloneniu svetlometov a oslňovaniu účastníkov premávky. Tento problém je možné vyriešiť montážou tlmičov Nivomat od firmy ZF na zadnú nápravu



v mieste bežného tlmiča. Tlmiče Nivomat (obr. 2.22) majú v podstate klasickú konštrukciu. Negatívne účinky zaťaženia eliminujú úplne samočinne – využitím energie relatívneho pohybu, medzi kolesami a karosériou, na prečerpávanie oleja vnútri tlmiča. To je umožnené konštrukciou tlmiaceho piesta (1), ktorého ojnicca (2) je dutá a v nej sa pohybuje druhý piest s ventilom (3), prečerpávajúci olej z nízkotlakového priestoru do vysokotlakového. V oboch priestoroch je olej (4) i plyn (5) (oddelené membránou). Obmedzenie zdvihu čerpadlového piesta je realizované vyrovnávacím otvorom. Tým je stanovená svetlá výška automobilu.

Vyrovnanie svetlej výšky karosérie nastáva po prejdení 500 m až 1500 m (závisí od stavu vozovky), kedy sa prečerpá potrebné množstvo oleja. Po zastavení vozidla zostáva svetlá výška konštantná po určitú dobu, pokým odtečie olej z vysokotlakového priestoru.

Tlmiče Nivomat sú vhodné pre všetky druhy odpruženia, okrem pneumatického a hydropneumatického, kde je nastavenie svetlej výšky súčasťou systému. [2] [14]



Obr. 2.22 Popis tlmiča Nivomat [14]

Podobné samonivelačné účinky môžu byť dosiahnuté spojením konvenčného tlmiča a mechu pneumatického odpruženia v jeden celok. Pri pružení sa mech odvaluje priamo po povrchu tlmiča. So zmenou zaťaženia sa zmení tlak vzduchu v mechu (0,1MPa až 0,8 MPa). [2]



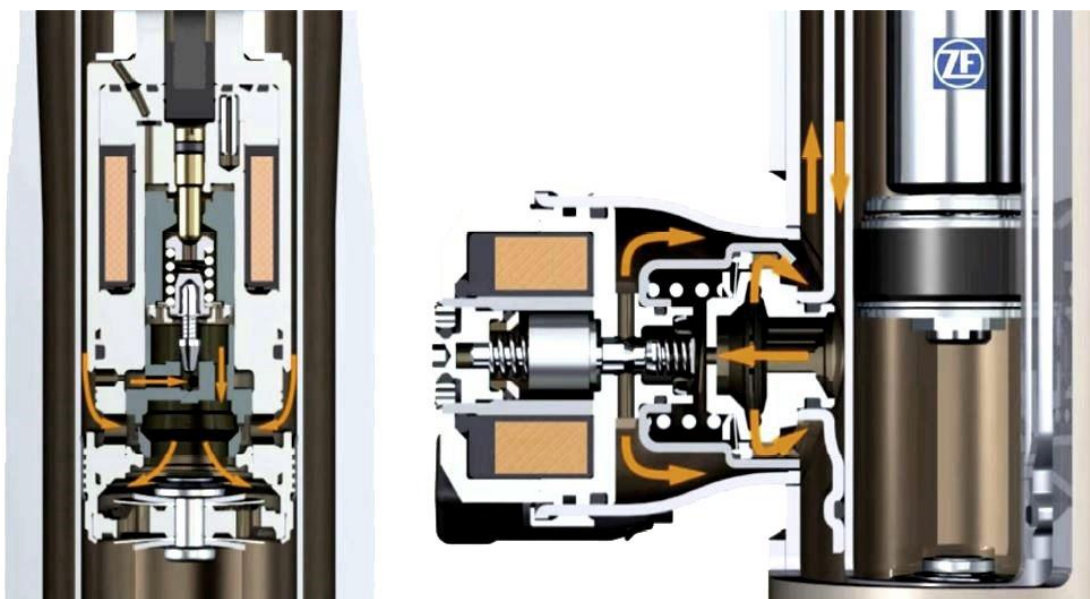
## 2.2.2 TLMIČE SEMI-AKTÍVNYCH SYSTÉMOV ODPRUŽENIA

Sú tlmiče, ktoré dokážu plynule meniť tlmiace účinky v závislosti od správania vozidla (pohybu kolies, naklonení karosérie, priebehu zrýchlenia/brzdzenia a zaťaženia). Poskytujú nadštandardný komfort jazdy.

### 2.2.2.1 CDC TLMIČ

Tlmíč CDC (Continuous Damping Control) je schopný nastaviť tlmiacu silu optimálne podľa jazdných podmienok, čím rieši kompromis medzi bezpečnosťou jazdy, pohodlím a dynamikou. Je základným prvkom semi-aktívneho CDC systému od spoločnosti ZF. Tlmiče sú elektronicky ovládané signálmi riadiacej jednotky, ktorá na základe dát získaných zo senzorov vypočítava tlmiacu silu individuálne pre každý tlmíč v rámci milisekúnd a podľa toho mení hodnotu riadiaceho prúdu. Systém ako celok bude bližšie popísaný v kapitole 3.2.1. [14]

Konštrukčne sa podobá tlmiču dvojplášťovému, ale je doplnený **elektromagneticky ovládaným prietokovým ventilom**. V ňom sa pôsobením elektromagnetického poľa posúva piest, ktorý otvára, alebo uzatvára prietokové kanály a tak dokáže plynule regulovať prietok oleja a meniť tlmiacu silu (umožňuje odlišný prietok oleja pri stláčaní a rozpínaní tlmiča). CDC tlmiče od ZF boli vyvinuté v dvoch verziách (obr. 2.23). **CDCi** (internal valve) má ventil zabudovaný vo vnútri piestu tlmiča. U verzii **CDCe** (external valve) je ventil umiestnený mimo tlmíč v samostatnom obtoku. Obe verzie vyžadujú veľmi nízky príkon (cca 15 W / tlmíč). Hodnota ovládacieho prúdu je v rozmedzí 0 až 1,8 A. V prípade výpadku napätia je riadiaci ventil odsunutý pružinou do tvrdej polohy (vyššia bezpečnosť). [14]



Obr. 2.23 CDCi (vľavo), CDCe (vpravo) [15]

#### Výhody [14]:

- vyššia bezpečnosť vďaka optimalizovanému tlmeniu
- zvýšený jazdný komfort a dynamika
- redukcia vertikálneho pohybu, priečných a pozdĺžnych náklonov karosérie
- kratšia brzdná dráha vďaka lepšiemu kontaktu pneumatík s vozovkou
- plynulé nastavenie tlmenia v reálnom čase

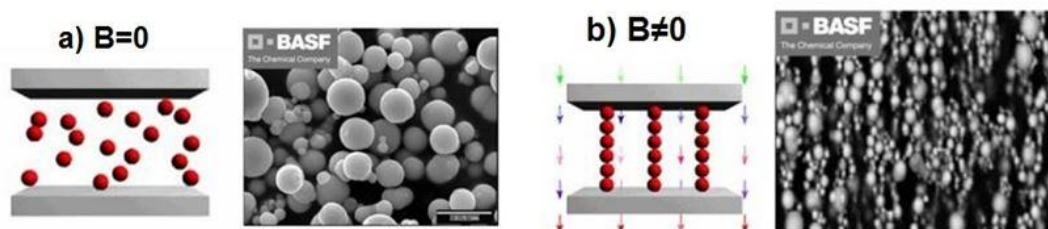


### 2.2.2.2 MAGNETO-REOLOGICKÝ TLMIČ

Magneto-reologický (MR) tmič využíva koncepciu jednoplášťového tmiča, no namiesto bežného oleja obsahuje **MR kvapalinu**. Tá je schopná meniť viskozitu v prítomnosti externe aplikovaného magnetického poľa, čo je základom plynule premenlivého tlmenia magneto-reologických tmičov. Tvoria ju tri hlavné zložky [16]:

- Karbohylové železné častice – priemerná veľkosť 5  $\mu\text{m}$  (tvoria 20 až 40 % objemu kvapaliny)
- Nosná kvapalina – zvyčajne uhľovodíkový olej
- Špeciálne aditíva – pridávané za účelom zabrániť usadzovaniu železných častíc, zvýšiť mazivosť, modifikovať viskozitu a znížiť opotrebenie

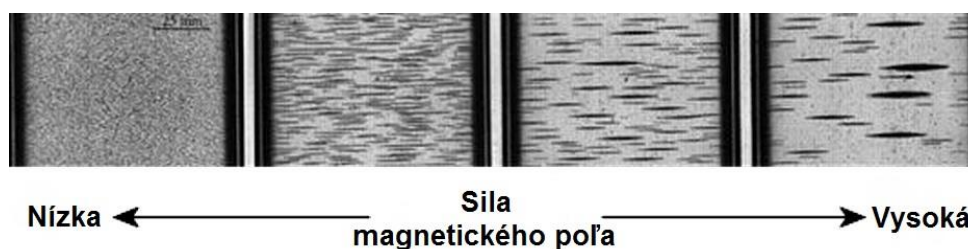
Aplikáciou magnetického poľa vytvoria železné častice reťazce v smere magnetického toku (naprieč tmičom), a tak zmenia viskozitu kvapaliny. Tá so zvyšovaním intenzity magnetického poľa stráca tekutosť – tuhne.



Obr. 2.24 Častice magneto-rheologickej kvapaliny [17]:

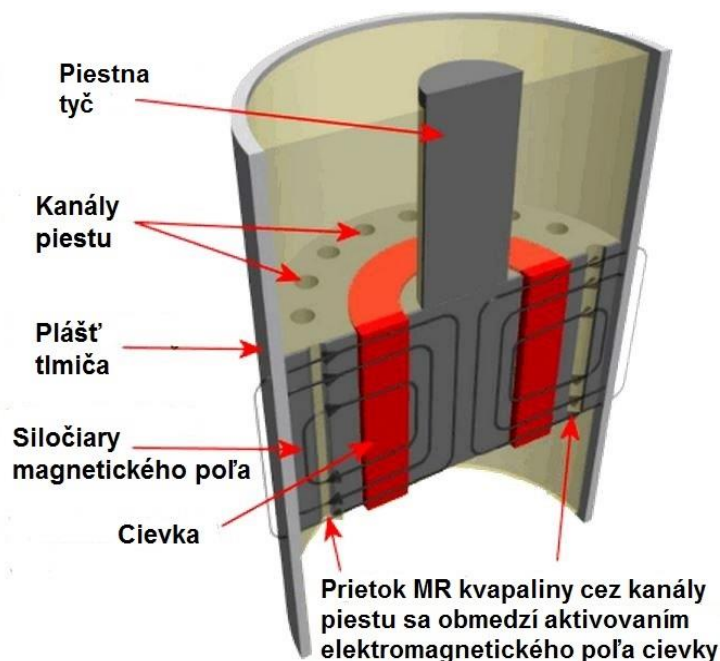
- a) bez pôsobenia magnetického poľa  
b) s pôsobením magnetického poľa

Zmeny štruktúry MR kvapaliny sú viditeľné na obrázku nižšie, kde pri intenzite magnetického poľa blízkej nule, sú častice voľne rozptýlené v nosnej kvapaline – vlastnosti Newtonskej kvapaliny. So zvyšujúcou sa hodnotou magnetickej indukcie sa častice zoskupujú do reťazcov – vlastnosti Binghamovej kvapaliny. [17] [18]



Obr. 2.25 Zmeny štruktúry MR kvapaliny [17]

Konštrukcia tmiča neobsahuje žiadne pohyblivé časti okrem piestu a piestnej tyče. Tie sa pohybujú v MR kvapaline prúdiacej kanálmi piestu. V ňom sa nachádza **budiaca cievka**, ktorá zmenou magnetického poľa **ovplyvňuje viskozitu kvapaliny** pretekajúcej kanálmi, od čoho sa odvíja tlmiači účinok. Cievka je napájaná vodičom elektrického prúdu vedeným cez piestnu tyč. Plynulá regulácia napájania je zabezpečená riadiacou jednotkou vozidla, vďaka čomu je možné vytvoriť neobmedzené množstvo tlmiačich charakteristík podľa aktuálnej potreby. [18]



Obr. 2.26 Rez magneto-reologickým tmičom [17]

Absenciou pohyblivých častí (regulačné ventily, ...) bolo možné dosiahnuť dobu odozvy tmiča len cca 2 ms, veľmi citlivú reguláciu a nízku spotrebu energie (približne 5W). Tmiče sú extrémne stabilné, necitlivé na kavitáciu, či kontamináciu. Na rozdiel od hlučných ventilovo-ovladaných tmičov – v ktorých prúdi kvapalina turbulentne, poskytujú tieto (bezventilové) tmiče hladký a veľmi tichý chod vďaka laminárnemu prúdeniu MR kvapaliny kanálmi piestu. [17]

#### Vlastnosti a výhody [18]:

- vynikajúca izolácia od otrasov a vibrácií vozovky
- menej pohyblivých častí (až o 60% menej, ako u ventilom ovládaných tmičov) – nižšia zložitosť výroby
- minimálna veľkosť – poskytuje vyššiu disipatívnu hustotu energie, než akýkoľvek iný regulovateľný typ tmiča
- vysoká trvanlivosť
- blesková doba odozvy – regulácia nezávisí od pohyblivých súčastí, ale len od impulzov cievky
- nízka spotreba energie
- tichá prevádzka (tichšie, ako pri tmičoch so servo-ventilom)
- umožňuje neobmedzené, kontinuálne a automatické riadenie tmiacich charakteristík
- vysoká úroveň komfortu a ochrany pasažierov



### 3 KATEGÓRIE ODPRUŽENIA VOZIDIEL

V tejto kapitole sú systémy odpružení rozdelené podľa stupňa aktivity, ktorú vykazujú. Každá podkapitola obsahuje detailný popis systému a stručné zhodnotenie. Porovnanie ich vlastností z ohľadom na jazdný komfort bude nasledovať v 4. kapitole.

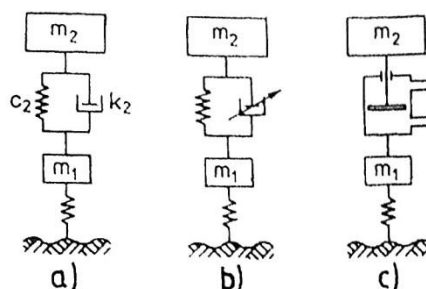
Na systavy odprużenia motorových vozidiel sú kladené tieto požiadavky [5]:

- dobrý jazdný komfort: malé zrýchlenie karosérie
  - nízka vlastná frekvencia karosérie, dráha prużenia a vlastná frekvencia nezávislé na zaťažení
  - tlmenie závislé na zaťažení a povahe jazdy
- vysoká miera bezpečnosti jazdy: malé kolísanie zaťaženia kolies
  - nezávislosť kinematiky nápravy od zaťaženia
  - regulácia úrovne (výšková poloha ťažiska)
  - dostatočné dráhy prużenia a tlmenia
  - konštantná poloha svetlometov
- malý priestor pre elementy prużenia a tlmenia: malé rozmery a krátke konštrukčné dĺžky (šírka batožinového priestoru)
- prispôsobenie svetlej výšky: zníženie pri vysokých rýchlostiach, príp. zmena sklonu karosérie pre optimálny súčiniteľ odporu vzduchu
  - zvýšenie v teréne

**Konvenčné** typy odprużenia nedokázali pokryť všetky požiadavky kladené na moderné systémy odprużenia (kompromis medzi komfortom a bezpečnosťou) a preto sa oblasť systémov odprużenia časom rozšírila o systémy **adaptívne** (pomalé), **semi-aktívne** (rýchle) a **aktívne**, ktorým bude viac venovaná pozornosť v nasledujúcich kapitolách. Nižšie uvádzam prehľad základných vlastností systémov odprużenia.

	Sily	Frekvenčná oblasť	Potreba energie	Model
Pasívne		—	—	
Adaptívne		menšia ako vlastná frekvencia karosérie	nízka	
Semi-aktívne		väčšia ako vlastná frekvencia karosérie	nízka	
Aktívne		a) pomalá: menšia ako vlastná frekvencia karosérie b) rýchla: väčšia ako vlastná frekvencia karosérie	vysoká	

Obr. 3.1 Systémy odprużenia [5]



Obr. 3.2 Štvrtinový model hlavných typov systému odprużenia: a)konvenčný b)semi-aktívny c)aktívny [5]



### 3.1 KONVENČNÉ ODPRUŽENIE

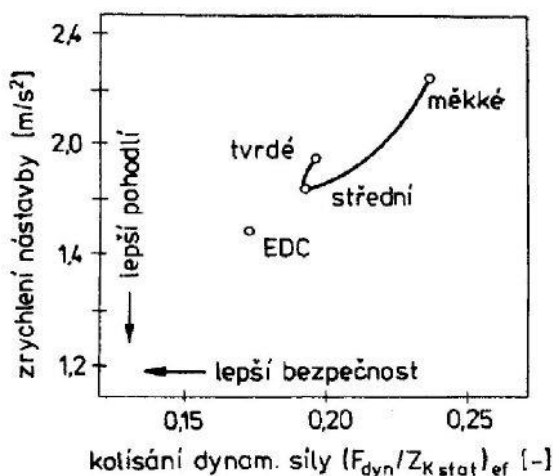
Konvenčné sústavy odpruženia – najčastejšie oceľové vinuté pružiny v kombinácii s hydraulickými tlmičmi, nemajú riadené vlastnosti tlmenia a pruženia. Preto sú známe aj pod názvom **pasívne**. Ich naladenie je vždy kompromisom medzi mäkkou pružiacou a tlmiacou charakteristikou (komfort) a tvrdou (bezpečnosť). Táto problematika už bola riešená v kapitole 1.1.1 a cieľový konflikt medzi bezpečnosťou jazdy a jazdným pohodlím je zobrazený na obrázku 1.3 (str. 13), kde znázornená krivka je medznou krivkou konvenčného odpruženia. Aplikácia tohto typu odpruženia prevažuje v motorových vozidlách dodnes, no v pomerne veľkej miere začína byť vytláčaná adaptívnymi (semi-aktívnymi), či dokonca aktívnymi systémami odpruženia. [5]

### 3.2 ADAPTÍVNE SYSTÉMY ODPRUŽENIA

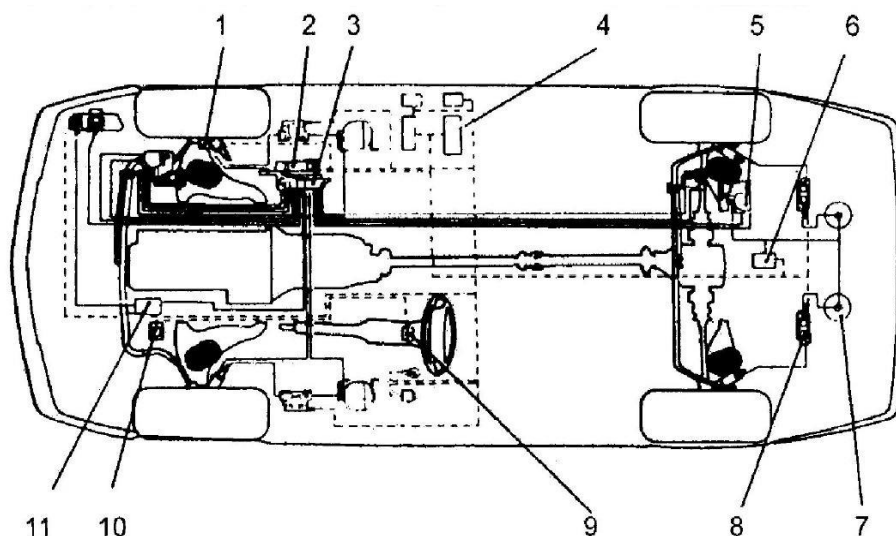
Adaptívne systémy odpruženia sú schopné **premenlivého účinku tlmenia** vertikálneho kmitania. To môže byť nastavované manuálne, alebo elektronicky **v niekoľkých stupňoch** (diskrétno). **Po nastavení**, má tlmič **vlastnosti konvenčného tlmiča**. Jednotka tlmenia je doplnená vinutými pružinami, alebo vzduchovým odpružením.

Tlmič má dve charakteristiky [5]: tvrdá – silný tlmiaci účinok (nízky komfort, ale malé kolísanie zaťaženia kolesa → vyššia bezpečnosť)  
- mäkká – slabý tlmiaci účinok (opačné vlastnosti)

Ako bolo spomenuté, tlmiacu charakteristiku môže voliť vodič ručne (tlačidlom), alebo môžu byť zvolené automaticky na základe rýchlosti vozidla, kolísania zaťaženia kolies, alebo podobnej veličiny týkajúcej sa rýchlosti jazdy a stavu vozovky. Na obrázku 3.3 je znázornený vplyv naladenia tlmičov na komfort a bezpečnosť jazdy. Účinok adaptívnej elektronickej regulácie tlmičov vyjadruje bod EDC (Electronic Damping Control). EDC systém spolupracuje s riadiacou jednotkou, ktorá vyhodnocuje dáta zo snímačov monitorujúcich pohyby automobilu a na základe toho dokáže veľmi rýchlo nastaviť účinok tlmenia na optimálnu mieru. Pri zaznamenaní väčších náklonov karosérie (zrýchlenie, brzdenie, zmeny smeru) je tlmenie prepnuté na silnejšie a pri ustálenej jazde (diaľnica) nastaví riadiaca jednotka tlmenie na nižšiu mieru a tým podporí komfort jazdy. Schéma EDC systému od spoločnosti Bosch je popísaná na obrázku 3.4. [5]



Obr. 3.3 Adaptívna regulácia tlmičov [5]



Obr. 3.4 EDC (Bosch): 1 – snímač zrýchlenia; 2 – ventilový blok; 3 – rozdeľovač; 4 – elektronická riadiaca jednotka; 5 – regulátor svetlej výšky; 6 – snímač stavu zaťaženia; 7 – pružinový zásobník; 8 – tlmiaci ventil; 9 – snímač polohy riadenia; 10 – snímač zrýchlenia karosérie; 11 – čerpadlo [5]

Základný program EDC systému (nazývaný komfort), dokáže splniť všetky požiadavky na tlmenie. Je v ňom možné voliť z troch prednastavených charakteristík tlmenia: mäkká-stredná-tvrdá. Pre športovejšie zameraných vodičov existuje „športový“ variant, ktorý používa len strednú a tvrdú charakteristiku.

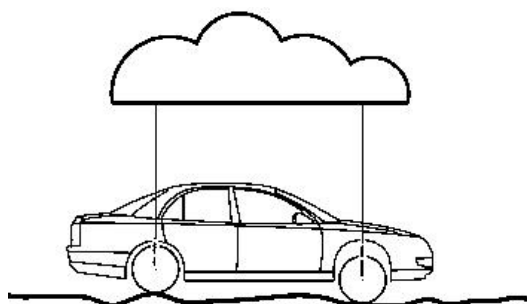
Je možné si prednastaviť prepínanie pružiaceho systému medzi mäkkou a tvrdou charakteristikou odpruženia. Dokonca je možné prepínať medzi kombináciami pruženia a tlmenia. Frekvencia prepínania je u adaptívnych systémov nižšia, ako charakteristická frekvencia kmitania. Preto sa adaptívne systémy odpruženia radia medzi pomalé. [5]

### 3.2.1 SEMI-AKTÍVNE SYSTÉMY ODPRUŽENIA

Semi-aktívne systémy sú v podstate adaptívne (pracujú v prvom a treťom kvadrante tlmiacej charakteristiky) s veľmi rýchlym prepínaním tlmenia, prípadne pruženia, preto majú dynamický model kmitania rovnaký, ako adaptívne. No na rozdiel od nich, **nie sú obmedzené niekoľkými charakteristikami** – je ich prakticky neobmedzené množstvo. To znamená, že je možné regulovať takmer každý bod charakteristiky a dokonca veľmi rýchlo (< 10 ms). Preto môžu **pracovať** nielen v oblasti frekvencie karosérie, ale **aj v oblasti frekvencie nápravy**. Zavedenie viacparametrových tlmičov umožnilo takú hladkú zmenu tlmiaceho účinku, že bolo možné nastaviť k akejkoľvek tlmiacej rýchlosti adekvátnu silu tlmenia. To musí byť uskutočnené v čase kratšom ako 10 ms. Tlmiče tohto typu poskytujú komfort blížiaci sa komfortu aktívneho odpruženia. [5]

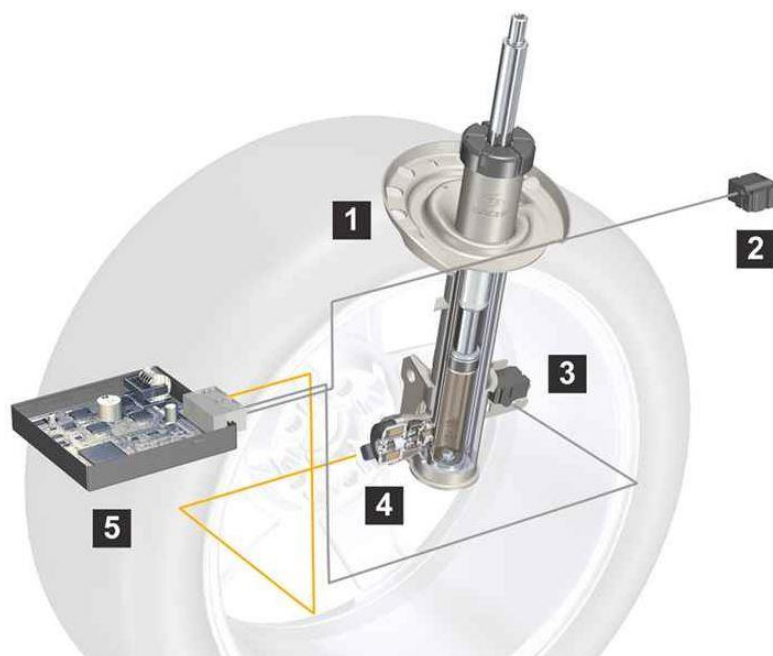
#### 3.2.1.1 CDC SYSTÉM

Systém CDC od spoločnosti ZF, pracuje na základe softvérovej stratégie Skyhook. Názov Skyhook vyplýva z funkcie systému. Karoséria sa pohybuje paralelne k nebu, čo vytvára pocit, akoby vozidlo viselo z oblohy (obr. 3.5). Tlmiaci odpor je riadený individuálne pre každé koleso na základe zrýchlení kolies a karosérie. Tento princíp udržiava vozidlo tak stabilné, ako je len možné, nezávisle od jazdných podmienok a stavu vozovky. [14]



Obr. 3.5 Skyhook stratégia [14]

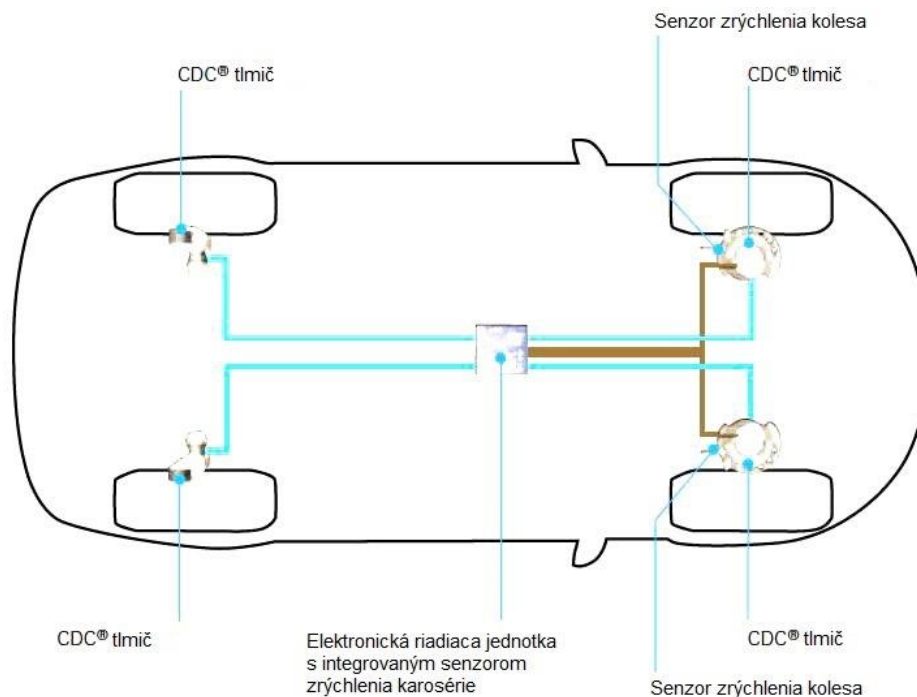
System pozostáva z **CDC tlmičov** (kap. 2.2.2.1) (1), senzora zrýchlenia karosérie (2), senzorov zrýchlenia kolies (3), CDC ventilu (4), elektronickej riadiacej jednotky (ECU) (5) a softvérového vybavenia (Skyhook). [14]



Obr. 3.6 Popis častí CDC systému [14]

Riadiaca jednotka dostáva informácie zo senzorov a iných systémov automobilu (ABS, ESP, ...), tie spracuje a na základe výsledkov nastavuje ventil CDC tlmiča na každom kolese individuálne. Ten dokáže počas niekoľkých milisekúnd adekvátne reagovať plynulou zmenou tlmiacej charakteristiky. Výsledkom je zvýšenie komfortu a bezpečnosti jazdy. Táto technológia sa najčastejšie využíva v osobných automobiloch nižšej-strednej triedy, či v segmente športových automobilov. [14]

Vylepšená verzia s názvom CDC4 už nepoužíva senzor zrýchlenia karosérie umiestnený zvlášť. Túto funkciu zvláda bez obmedzenia výkonu modernizovaná riadiaca jednotka. Ostatné časti systému zostali zachované. Schéma systému CDC4 je na ďalšej strane. [14]



Obr. 3.7 Modernizovaný CDC4 systém [14]

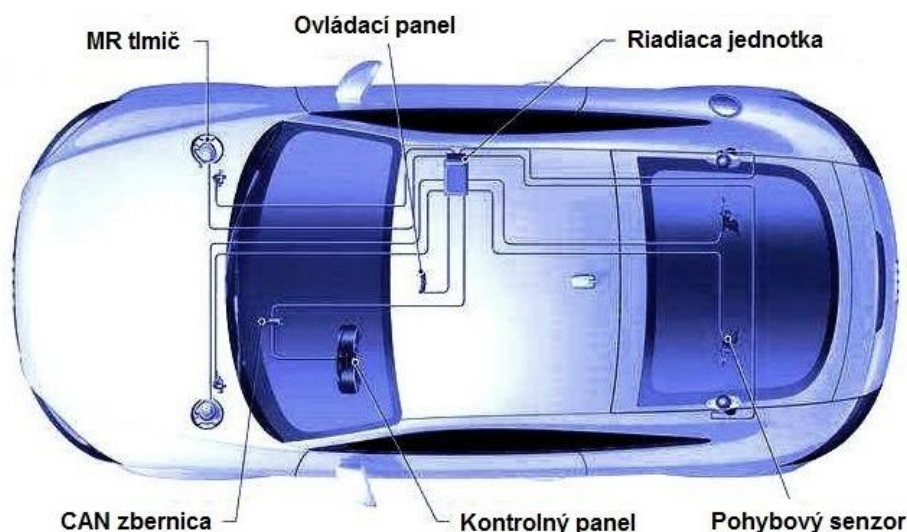
#### Výhody [14]:

- zvýšenie tlmiaceho odporu na kolesi, kde je potrebné
- upravenie tlmiacej sily s cieľovou presnosťou (optimálne tlmenie)
- viac stupňov voľnosti v ladení vozidla
- integrovaná fail-safe technológia

Ďalším možným spôsobom zlepšenia stability vozidla je inštalácia systému aktívnej stabilizácie náklonu (**ARS – Active Roll Stabilization**) od ZF. Podstatou fungovania je, že na stabilizátor pôsobia hydraulické akčné členy, čím sa vyrovnáva náklon vozidla. Aplikuje sa najčastejšie do vozidiel strednej triedy a vrcholových modelov značiek. [14]

#### 3.2.1.2 MAGNERIDE

Jedná sa o systém semi-aktívneho odpruženia, ktorý využíva **magneto-reologické tlmiče** (kap. 2.2.2.2). Pri zrode tejto technológie stála spoločnosť Delphi Automotive. Tá sa zaslúžila o prvú generáciu systému MagneRide prvýkrát použitú v automobile Cadillac Seville STS. Časom dosiahla táto technológia limit svojho potenciálu a prichádzali ďalšie generácie tohto systému. Aktuálne v poradí už tretia generácia vyvinutá firmou **BWI** má viaceré technické inovácie. Vylepšené boli tesnenia a ložiská, aby bolo možné systém použiť aj pre ťažšie vozidlá (SUV- Sport Utility Vehicle). Najpodstatnejším vylepšením sú cievky, ktoré sú na každom tlmiči dve menšie namiesto jednej v predchádzajúcej verzii. K tejto inovácii došlo najmä z dôvodu oneskorených reakcií cievky (až 20 ms), na náhle zmeny prúdu. Bolo to spôsobené dočasným elektrickým prúdom, alebo vírivými prúdmi v elektromagnete. BWI toto oneskorenie eliminovala použitím dvoch menších, opačne vinutých cievok, čím dochádza k vyrušeniu vírivých prúdov, čo eliminuje oneskorenie a systém tak môže rýchlejšie reagovať. Ďalšími zmenami prešla riadiaca jednotka (ECU). Dosahuje trikrát vyšší výpočtový výkon, jej pamäť sa zväčšila na desaťnásobok a pracuje s novými algoritmi, takže zvláda väčšiu výpočtovú záťaž. [19] [20]



Obr. 3.8 Hlavné časti systému MagneRide [21]

Keďže funkcia MR tlmičov už bola popisovaná vyššie, budem sa venovať systému ako celku. Ten pozostáva zo **senzorov**, ktoré zaznamenávajú pohyby karosérie. Dáta sú ďalej importované do modernizovanej **riadiacej jednotky** systému. Odtiaľ smerujú do **CAN zbernice** (služi pre rýchlu a bezchybnú komunikáciu medzi jednotlivými jednotkami), kde sú spracované. Signál sa ďalej šíri do riadiacej jednotky tlmiča. Tá vyšle adekvátnu hodnotu elektrického prúdu do cievky **MR tlmiča**, ktorá vytvorí magnetické pole, čím sa zmení viskozita MR kvapaliny. Tuhosť tlmiča môže byť upravovaná každých cca 5 ms.

Systém ďalej umožňuje vodičovi pomocou **ovládacieho panelu** z menu informačného systému vozidla meniť jazdné režimy podľa potreby, prípadne zvoliť automatický režim a nechať voľbu na samotný automobil. Voľbou režimu je ovplyvňovaná aj funkcia ďalších jazdných systémov automobilu (reakcie plynového pedálu, tuhosť riadenia, radenie prevodovky, kontrola trakcie, akustika výfukového systému, ...). O stave tlmičov je vodič informovaný prostredníctvom **kontrolného panela**. V prípade poruchy dôjde k prerušeniu toku elektrického prúdu do cievky a tlmič pracuje pasívne na mäkkej charakteristike.

Systém je používaný v luxusnejších modeloch koncernu General Motors (Cadillac, Buick, Chevrolet, ...), ďalej v automobiloch značky Jaguar, Land Rover, Ferrari, Lamborghini a v športovejších modeloch značky Audi. V závislosti od typu automobilu sa MagneRide používa v kombinácii s vinutými pružinami, alebo pneumatickým odpružením (Range Rover). [19] [22]

#### Výhody [19]:

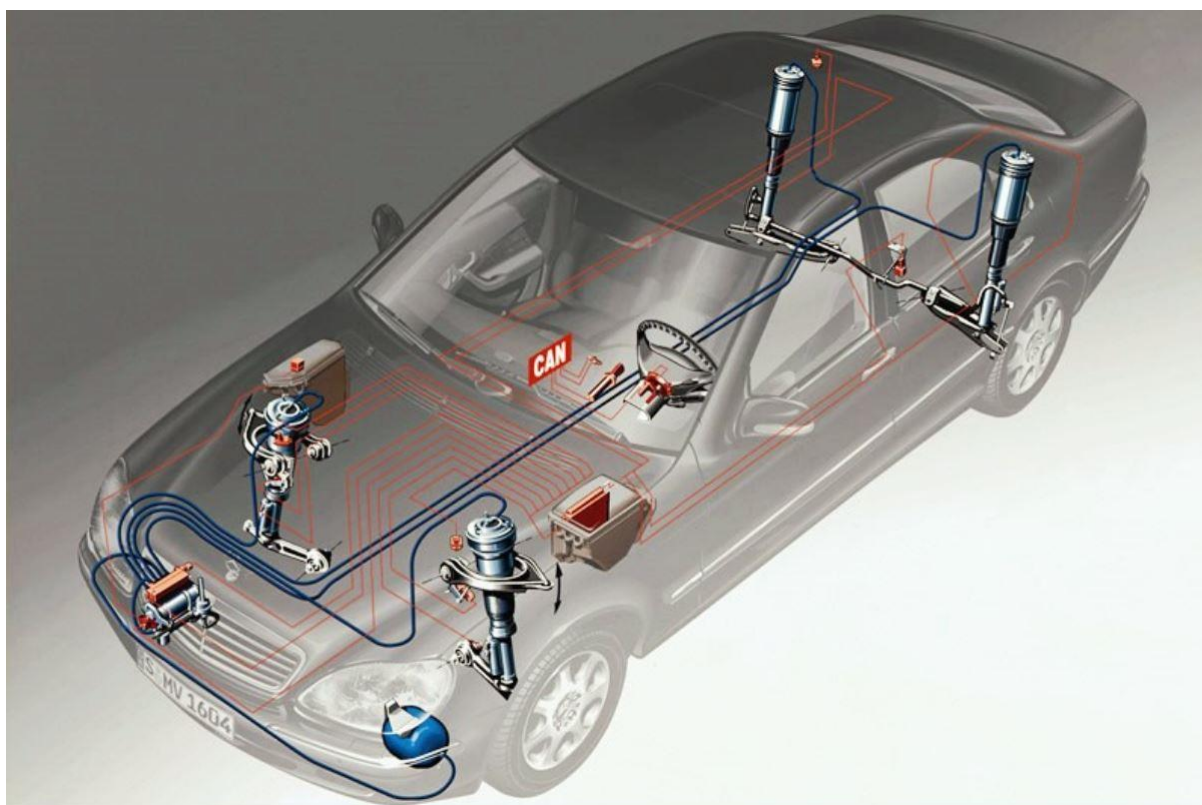
- rýchla a lineárna odozva na riadiaci vstup a širší dynamický rozsah
- nižšia hladina hluku ako u CDC systému, ktorý využíva tlmiče s elektromagneticky ovládaným ventilom
- veľmi široké spektrum nastavenia tlmenia
- nízka spotreba energie
- nízka relatívna rýchlosť pohybov karosérie
- žiadne pohyblivé časti
- možnosť prepojiť systém s inými riadiacimi systémami
- odpadá nutnosť použitia stabilizátora na náprave



### 3.2.1.3 AIRMATIC

AIRmatic (Adaptive Intelligent Ridecontrol) je semi-aktívny systém odpruženia využívajúci **vzduchové odpruženie**. Je používaný výhradne vo vozidlách značky Mercedes-Benz už od roku 1991 kedy mal svetovú premiéru na vlajkovej lodi S-triedy. Postupom času sa táto technika dostala i do ďalších modelov značky. AIRmatic už nie je veľkou raritou automobilky, pretože jej exkluzívnejšie modely už využívajú aktívny systém ABC (Active Body Control), či dokonca najnovší skvost Magic Body Control (príplatková výbava S-triedy). Tieto aktívne systémy sú k dispozícii len v kombinácii so zadnou poháňanou nápravou. Pre modely s pohonom všetkých kolies je k dispozícii iba systém AIRmatic. Ten sa dodnes využíva aj v iných modeloch s pohonom zadnej nápravy.

Základom systému AIRmatic sú jednotky vzduchového odpruženia (kap. 2.1.5) a **adaptívny systém tlmenia ADS**. Systém ďalej obsahuje kompresor, ventily vzduchových pružín, elektronické riadiace jednotky a potrebné snímače. Všetky jeho časti sú pospájané pneumatickým vedením a dátovou zbernicou CAN (Controller Area Network). Jedná sa o otvorený systém (hmotnosť vozidla je nesená stlačeným vzduchom). AIRmatic umožňuje aj reguláciu svetlej výšky vozidla. Je to umožnené privedením/odvedením stlačeného vzduchu do/z pneumatického mechu. Tlak vzduchu je regulovaný pre každé koleso nezávisle prostredníctvom magnetických ventilov (2 oddelené ventily pre odskok a kompresiu v každom tlmiči). [5] [23]



Obr. 3.9 AIRmatic (Mercedes-Benz S-trieda (W220)) [24]

Elementy odpruženia majú samonivelačnú schopnosť. To znamená, že systém automaticky prispôsobuje svetlú výšku nezávisle od zaťaženia. Od rýchlosti 100 km/h je výška podvozku automaticky znížená. Svetlú výšku vozidla je možné regulovať v rozmedzí 4 cm, čo pri maximálnom zdvihu uľahčuje prejazd nespevnených ciest. Pomocou ovládacieho rozhrania je vodičovi umožnené vybrať medzi rôznymi jazdnými režimami (Comfort, Sport, Sport+,



Eco). Jednotka odpruženia je prepojená s ďalšími rozhraniami vozidla a pri zmene režimu dochádza k úprave celkového jazdného prejavu (odozva na plynový pedál, tuhosť riadenia, radenie, ESP, ...), čo má vplyv na bezpečnosť, ale aj celkový komfort pasažierov. [23]

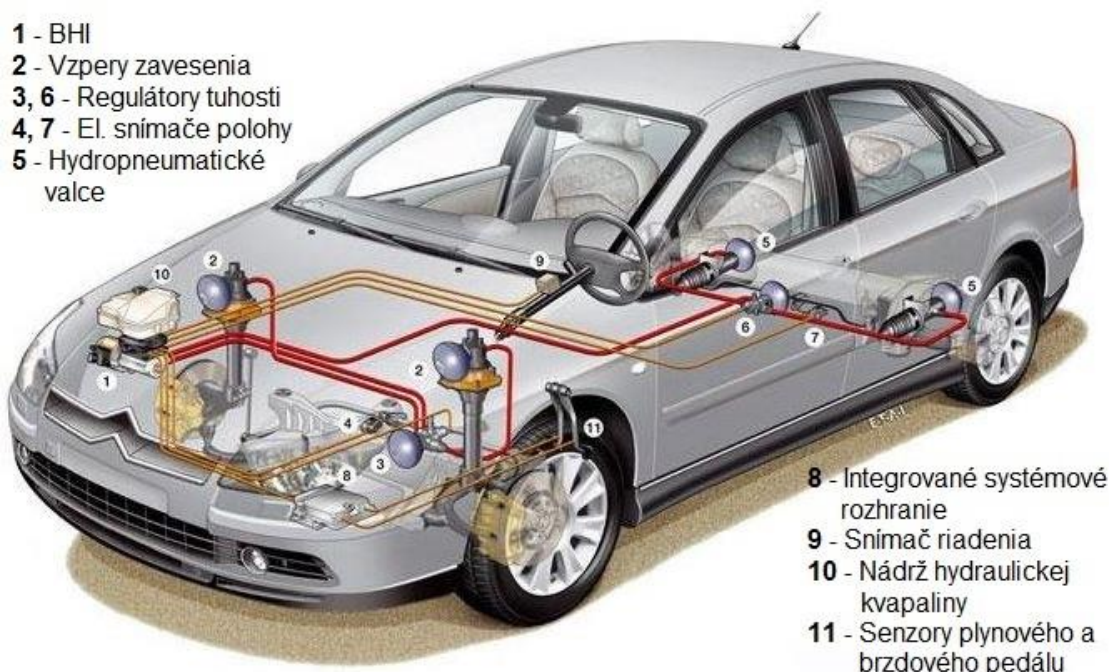
#### Výhody [23]:

- excelentný komfort vzduchového pruženia
- hladký pohyb cez nerovnosti bez zhoršenia ovládateľnosti
- samonivelačné účinky – udržanie konštantnej svetlej výšky nezávisle od zaťaženia
- regulácia svetlej výšky
- premenlivý tlmiaci účinok v závislosti na jazdných podmienkach
- na trhu už viac ako 20 rokov – odstránenie nedostatkov, zvýšenie spoľahlivosti

#### 3.2.1.4 HYDRACTIVE 3

Hydropneumatický systém odpruženia Hydractive je vynálezom automobilky Citroën. Od prvej generácie prešiel rozsiahlymi zmenami a aktuálne je najrozšírenejšia jeho tretia generácia použitá v modeli C5. Hlavnou úlohou systému je zaistiť stálu svetlú výšku vozidla pri rozdielnom zaťažení, a tým skvalitniť jazdný prejav.

Základom je jednotka **hydropneumatického odpruženia** (kap. 2.1.5) a hydroelektrický riadiaci blok BHI s integrovaným čerpadlom (udržiavanie stáleho tlaku). Komponenty systému sú spojené vysokotlakovým hydraulickým obvodom (až 27,5 MPa). Informácie o pohyboch karosérie a stave vozovky zabezpečujú senzory rýchlosti vozidla a výšky karosérie. Systém je prepojený s ďalšími riadiacimi jednotkami vozidla. [5] [25]



Obr. 3.10 Hydractive 3 (Citroën C5)[26]

Hydroelektrický blok **BHI** (Bloc Hydroélectronique Intégré) dostáva každých 10 ms dáta zo senzorov. Tie raz za minútu vyhodnotí a na základe toho riadi svetlú výšku vozidla.



Hydractive 3 využíva 2 prednastavené režimy:

- diaľnica – zníženie podvozku o 15 mm pri prekročení 110 km/h (zlepšenie aerodynamiky)
- nespevnené cesty – zvýšenie svetlej výšky vozidla o 13mm pri rýchlosti pod 70 km/h (zachovanie cestovného komfortu posádky)

Voľbu režimu prevádza BHI na základe rýchlosti, hmotnosti a náklonu vozidla.

Pri ručnom ovládaní podvozku má vodič možnosť voľby zo 4 úrovní:

- B – minimálna výška (pohodlnejší prístup do batožinového priestoru)
- N – referenčná pozícia (vozidlo ju dosiahne automaticky pri prekročení 10 km/h)
- P – zvýšenie o 40 mm (prekonanie väčších nerovností)
- H – maximálna výška (výmena kolesa, ...) [5] [25]

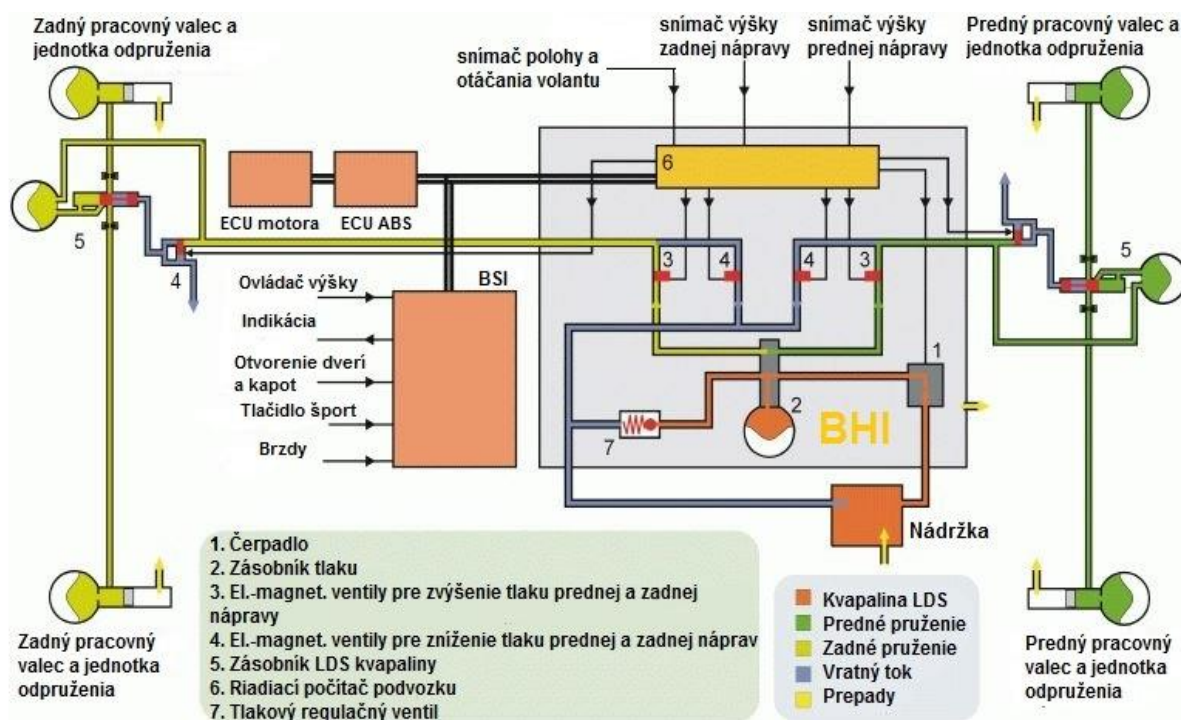
Výhody:

- vysoká spoľahlivosť a nenáročnosť na servis (servisný interval 5 rokov/ 200 000 km)
- samonivelačné účinky – stála svetlá výška bez ohľadu na záťaž
- výrazná regulácia svetlej výšky
- tlmiace účinky bez použitia tlmičov

Pri poruche systému vozidlo poklesne na najnižšiu úroveň, čo obmedzí oblasť použitia automobilu. To môže byť spôsobené zanedbaním servisného intervalu (zlyhanie tesnenia, zlá hydraulická kvapalina, a pod.). [25]

### Hydractive 3+

Pred pár rokmi sa dočkal Hydractive 3 modernizácie. Do názvu mu pribudlo + a s ním aj nové možnosti nastavenia tuhosti (Comfort a Dynamic), čo pozitívne ovplyvnilo užívateľský i jazdný komfort. Do hydraulického okruhu (obr. 3.11) pribudli dva tlmičové ventily. [25][27]



Obr. 3.11 Hydractive 3+ [27]



Blok BHI vyhodnocuje optimálnu svetlú výšku na základe viacerých parametrov:

- rýchlosť vozidla
- uhlová rýchlosť riadenia
- pozdĺžne zrýchlenie vozidla
- priečne zrýchlenie vozidla
- rýchlosť zdvihu zavesenia
- pohyby plynového pedálu

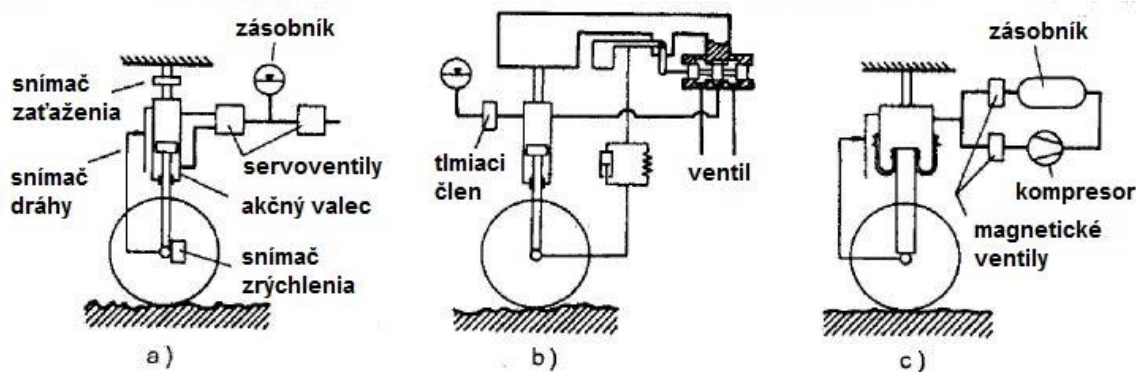
Systém našiel využitie v automobile Citroën C6 a v novšej generácii C5. [27]

### 3.3 AKTÍVNE SYSTÉMY ODPRUŽENIA

Na rozdiel od adaptívnych (semi-aktívnych) systémov, ktoré dokážu ovplyvňovať tlmiace účinky, aktívne systémy odpruženia dokážu vyvinúť **silové pôsobenie**. Používajú pohonný systém umiestnený na každom kolese, ktorý umožní v podstate manipuláciu s karosériou a tak udržuje zaťaženie kola na takmer statickej hodnote. V porovnaní s adaptívnymi systémami majú oveľa vyššiu spotrebu energie.

Rozoznávame 3 základné princípy aktívneho odpruženia (obr. 3.12) [5]:

- **Lotus:** využíva 4 veľmi rýchle hydraulické valce zásobované pomocnou energiou
  - medzi hydraulickým valcom a karosériou je snímač zaťaženia kola
  - snímač zásobuje regulačný okruh a udržuje statické zaťaženie kola
- **Williams:** hydropneumatický systém odpruženia
  - pohyby karosérie sú riadené reguláciou oleja v obvode systému
- **Horvat:** pneumatický systém odpruženia
  - pohyby karosérie sú riadené reguláciou tlaku vzduchu v obvode systému



Obr. 3.12 Princípy aktívneho odpruženia:[5]

- system Lotus
- system Williams
- system Horvat

Konkrétne systémy aktívneho odpruženia sú rozoberané v kapitole „Budúcnosť odpruženia“, pretože sa v súčasnosti vyskytujú ojedinele a väčšina z nich je vo fáze vývoja, alebo testovania.



## 4 POROVNANIE SEMI-AKTÍVNYCH A KONVENČNÝCH SYSTÉMOV

Tab. 4.1	Konvenčné odpruženie (vinutá pružina+ tlmič↓)		
	Jednoplášťový	PSD	DCD
variabilita tlmiacich účinkov	žiadna	obtokové drážky	zmena priemeru
reakčná doba	-	-	-
regulácia svetlej výšky	žiadna	žiadna	žiadna
samonivelačné účinky	žiadne	žiadne	žiadne
hladina hluku	priemerná	priemerná	priemerná
spotreba energie	žiadna	žiadna	žiadna
zložitosť	minimálna	minimálna	minimálna
zástavbové rozmery	minimálne	minimálne	minimálne
potreba stabilizátora nápravy	áno	áno	áno
kompatibilita: vinuté pruž./ pneu. odpr. / iné	áno/-/-	áno/-/-	áno/-/-
špecifiká	náhrada za dvojnoplášťový	ekonomické riešenie	pre veľko-priestorové vozidlá
cenová kategória	minimálna	stredná	stredná
úroveň komfortu	nízka	priemerná	priemerná
celkové hodnotenie	E	D	D

Tab. 4.2	Semi-aktívne systémy odpruženia			
	CDC	MagneRide	AIRmatic	Hydractive 3
variabilita tlmiacich účinkov	servoventil	MR kvapalina	servoventil	tlmiaci ventil
reakčná doba	< 10 ms	<< 10 ms	10 ms	10 ms
regulácia svetlej výšky	žiadna	možná*	možná	možná
samonivelačné účinky	áno**	áno*	áno	áno
hladina hluku	nízka	najnižšia	nízka	vyššia
spotreba energie	cca 15W/tlmič	cca 5W/tlmič	neuvádza sa	neuvádza sa
zložitosť	zvýšená	zvýšená	vysoká	vysoká
zástavbové rozmery	stredné	malé	veľke	veľke
potreba stabilizátora nápravy	áno	nie	áno	áno
kompatibilita: vinuté pruž./ pneu. odpr. / iné	áno/-/-	áno/áno/-	-/áno/-	-/-/áno
špecifiká	fail-safe stratégia	žiadne pohyblivé časti	komfort vzduchového pruženia	maximálna svetlá výška
cenová kategória	vyššia	vyššia	najvyššia	vyššia
úroveň komfortu	vysoká	najvyššia*	veľmi vysoká	vysoká
celkové hodnotenie	B	A	B	C

\* v kombinácií s pneumatickým odpružením

\*\*v kombinácií s tlmičmi Nivomat



## 5 BUDÚCNOSŤ ODPRUŽENIA

Neustála snaha človeka niečo vylepšovať dotiahla systémy odpruženia takmer k dokonalosti, no pokrok techniky prináša ďalšie možnosti a výzvy. Spoločnosti vyvíjajúce prvky a systémy odpruženia sa snažia eliminovať všetky vplyvy, ktoré by mohli narušiť komfort pasažierov, alebo mať negatívny dopad na bezpečnosť prevádzky. Nielenže sa zrýchľuje reakčná doba tlmenia, no najnovšie systémy dokážu dokonca generovať silu nezávisle na každom kolese a tým posúvajú schopnosti odpruženia ešte ďalej. V ďalších podkapitolách budú predstavené technicky najzaujímavejšie riešenia.

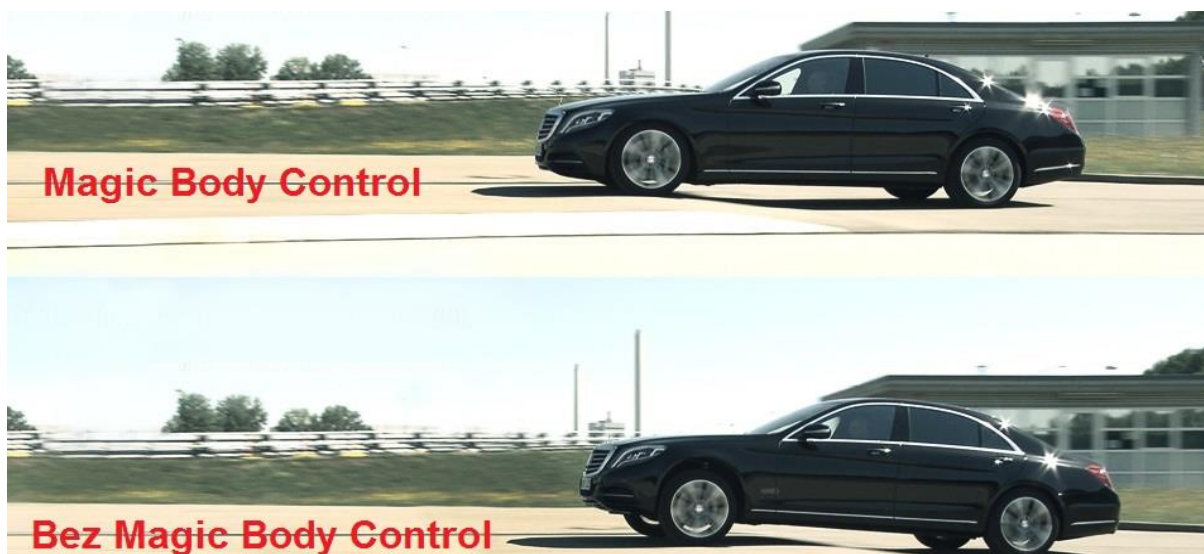
### 5.1 ACTIVE BODY CONTROL

Ako vyplýva z anglického názvu, jedná sa o systém aktívneho ovládania karosérie (ABC). Bol vynájdený spoločnosťou Mercedes-Benz na prelome tisícročí, teda je na trhu už dlhšiu dobu, no i tak je jeho použitie pomerne ojedinelé hlavne kvôli zložitosti, od ktorej sa odvíja i cena. Preto je dostupný len pre najluxusnejšie modely značky.

Každé koleso je nezávisle ovládané pomocou **hydraulickej jednotky** odpruženia. V nej sa nachádza dvojkomorový tlmič, okolo ktorého je vinutá pružina. Ďalšou dôležitou súčasťou je hydraulický valec, ktorý obsahuje elektrický senzor a dva proporcionálne ventily. Systém riadi riadiaca jednotka a srdcom systému je vysokotlakové čerpadlo (20 MPa), ktoré čerpá olej do hydraulickej jednotky odpruženia, kde stláča pružinu a tak generuje silu pôsobiacu na karosériu. Jeho tok je riadený cez proporcionálne ventily.

Pri použití ABC systému vo vozidle, už nie sú potrebné stabilizátory na nápravách. Frekvencia fungovania systému je do 6 Hz (frekvencia pri brzdení, a pod.). [29]

**Magic Body Control** (Magické ovládanie karosérie) je aktuálnou novinkou v oblasti odpruženia. Základom je ABC systém doplnený o **stereo kameru** umiestnenú za čelným sklom v oblasti interiérového spätného zrkadla. Tá nepretržite skenuje povrch vozovky až 50 m pred vozidlom (do rýchlosti 130 km/h) a podľa toho pripraví odpruženie. Systém je tak schopný eliminovať pohyby karosérie a izolovať vibrácie. Samozrejmosťou je udržiavanie svetlej výšky nezávisle od zaťaženia vozidla, ako aj jej prispôbenie podľa jazdných podmienok. Systém je tiež schopný v režime „Curve“ naklápať karosériu vozidla pri prejazde zákrutami a tak zvýšiť pôžitok z jazdy (S-kupé). Magic Body Control je dostupný len pre modely S-triedy (kupé aj limuzínu). [30]



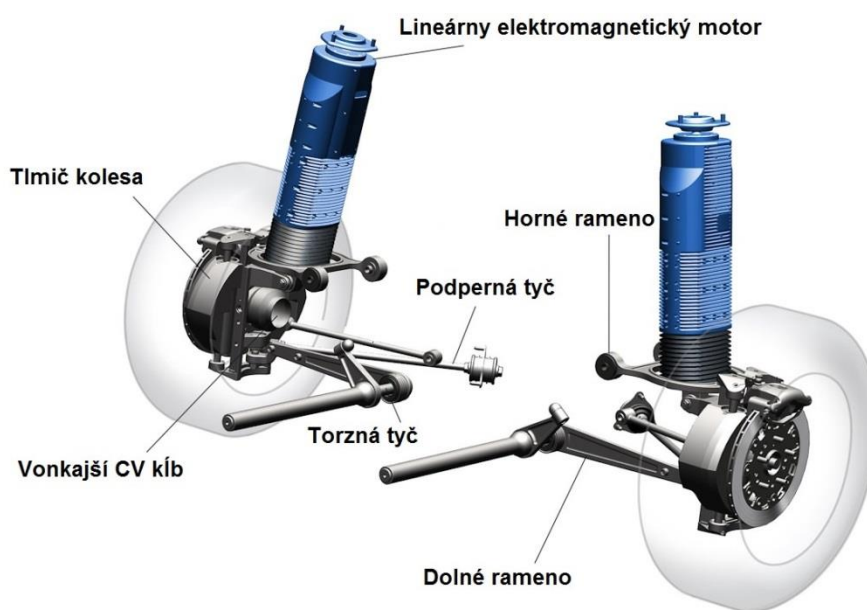
Obr. 5.1 Vplyv MBC systému na karosériu vozidla počas jazdy [30]



## 5.2 MRC BOSE

Základom systému sú **lineárne elektromagnetické motory**, ktoré sú schopné upraviť charakteristiku tlmenia len za 1 ms. To vyžaduje vysokovýkonné zosilovače (na každom kolese) a výkonné riadiace jednotky, ktoré musia prakticky v reálnom čase, na základe dát zo senzorov, vyhodnocovať, akú veľkú silu je potrebné vyvinúť, nezávisle na každom zo 4 kolies. Preto je potrebné veľké množstvo energie. Tento problém je vyriešený rekuperáciou energie v lineárnych elektromotoroch, takže systém si vystačí s veľmi malým príkonom. K rekuperácii dochádza pri zasúvaní tmiča, kedy je v ňom pohybom magnetu vo vnútri cievky generovaná elektrická energia, ktorá sa ukladá do vysokovýkonných Ultra-Caps kondenzátorov. Uskladnená energia je neskôr využitá pri práci systému. Ten pracuje s napätím 300V, pričom napätie palubnej siete zostáva zachované (12V).

Systém vyniká predovšetkým svojou rýchlosťou (1 ms). Má niekoľkonásobne kratšiu reakčnú dobu, ako ostatné systémy, no zatiaľ sa jedná len o testovací prototyp (namontovaný na automobile Lexus LS). Systém je pomerne ťažký a rozmerný, preto vyžaduje veľký zástavbový priestor, čo môže byť hlavný problém pri montáži do sériových modelov automobilov. Ďalším negatívnym faktom je zložitosť, s čím súvisí náchylnosť na poruchy a náročnejší servis. [5]



Obr. 5.2 MRC Bose [31]



## ZÁVER

Cieľom práce bolo porovnať semi-aktívne a konvenčné systémy odpruženia z pohľadu jazdného komfortu. Preto boli systémy v záverečnom porovnaní hodnotené na základe kritérií súvisiacich z jazdným komfortom. Na základe zvolených kritérií získal najlepšie hodnotenie systém MagneRide využívajúci magneto-rheologické tlmiče, z čoho ťaží mnohé výhody. Základom úspechu je magneto-rheologická kvapalina, ktorá bleskovo reaguje na impulzy magnetického poľa zmenou viskozity a teda nie je závislá na žiadnych pohyblivých súčiastkach (ventily). Počas činnosti tlmiča prúdi kvapalina laminárne a to je dôvod, prečo sú tlmiče také tiché. Ďalšou výhodou je fakt, že systém MagneRide sa reálne montuje do automobilov v kombinácii s vinutými pružinami (športové kupé, a pod.), ale nájdeme ho aj na podvozkoch v spolupráci s pneumatickým odpružením (luxusné SUV), čo poukazuje na jeho všestrannosť.

No v porovnaní s aktívnymi systémami odpruženia bude určite v niektorých parametroch ovplyvňujúcich jazdný komfort zaostávať, pretože nedokáže vyvinúť na kolesá silové pôsobenie. Tu je potrebné upozorniť na zložitosť, veľké zástavbové rozmery a energetickú náročnosť aktívnych systémov odpruženia. Pri porovnávaní semi-aktívnych a aktívnych systémov odpruženia už nie je problémom kompromis medzi bezpečnosťou a komfortom (tvrdé a mäkké naladenie), ale skorej je potreba brať ohľad na pomer funkčnosť/náročnosť prevádzky systému a v tom zatiaľ vedú systémy semi-aktívne.



## POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] GILLESPIE, T. D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. ISBN 1-56091-199-9.
- [2] JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav a ČUPERA Jiří. *Automobily (1): Podvozky*. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-11-7.
- [3] Spôsob činnosti tlmiča kmitania. JURDA, Milan. *Jurda racing: Testy tlmičov* [online]. [cit. 17.2.2015]. Dostupné z: <http://www.jurda.sk/tlmice.html>
- [4] Halliday, D., Resnik, R., Walker, J.: *Fyzika*, VUTIUM a PROMETHEUS, 2000.
- [5] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3. přeprac., rozš., aktualiz. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-x.
- [6] REIMPELL, Jornsen. *The Automotive Chassis*. 2nd edition. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2001. 444 s. ISBN 0 7506 5054 0.
- [7] Cars in facts, figures and commentary. *The Automobile Reporter: Cutaway: Mercedes-Benz C-Class MY 2014 (W205)*. [online]. 2014  
Dostupné z: <http://www.automobilereporter.com/cutaway-mercedes-benz-c-class-2014-w205/>
- [8] Náprava. JANCO, Marcel. Autorubik: Podvozok, kolesá a riadenie. [online].2011  
Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/technika/naprava/>
- [9] 2014 Audi S3 Sportback. *Caricos: Audi*. [online]. 2014  
Dostupné z:  
[http://www.caricos.com/cars/a/audi/2014\\_audi\\_s3\\_sportback/1600x1200/48.html](http://www.caricos.com/cars/a/audi/2014_audi_s3_sportback/1600x1200/48.html)
- [10] Kliková náprava. SAJDL, Jan. *Autolexicon.net*. [online]. 2015  
Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/klikova-naprava/>
- [11] Kyvadlová (úhlová) náprava. SAJDL, Jan. *Autolexicon.net*. [online]. 2015  
Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/kyvadlova-uhlova-naprava/>
- [12] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor: Martin Hartl, Miloš Vlk. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [13] Listová pružnice. ZÍTKO, Martin. *Pojezdy: Vypružení*. [online].  
Dostupné z: [http://www.vagony.cz/pojezdy/vypruzeni/listova\\_pruznice.html](http://www.vagony.cz/pojezdy/vypruzeni/listova_pruznice.html)
- [14] Shock Absorbers. ZF Friedrichshafen AG. *ZF Technology for Cars: Damping*. [online]. [cit. 11.4.2015 ] Dostupné z:  
[http://www.zf.com/corporate/en\\_de/products/product\\_range/cars/cars.html](http://www.zf.com/corporate/en_de/products/product_range/cars/cars.html)
- [15] ZF CDC Damping System. [online]. 2010  
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=80PI8d1dXdo>



- [16] What is MR Fluid. BONSOR, Kevin. *HowStuffWorks: How Smart Structures Will Work*. [online]. [cit. 4.5.2015].  
Dostupné z: <http://science.howstuffworks.com/engineering/structural/smart-structure1.htm>
- [17] Magnetic Damper - Magnetorheological Damper. *Technical F1 Dictionary*. [online]. [cit. 4.5.2015].  
Dostupné z: [http://www.formula1-dictionary.net/damper\\_magnetorheological.html](http://www.formula1-dictionary.net/damper_magnetorheological.html)
- [18] Automotive Suspension Systems. *Lord Corporation web site: Active Vibration Control*. [online]. [cit. 6.5.2015].  
Dostupné z: <http://www.lord.com/products-and-solutions/active-vibration-control/automotive-suspension-systems>
- [19] BWI Magneride. *Under The Skin: Automotive technology online*. [online]. 2011 [cit. 10.5.2015]. Dostupné z: [http://under-the-skin.org.uk/news\\_magneride.html](http://under-the-skin.org.uk/news_magneride.html)
- [20] The design, development and applications of MagneRide suspension. CROSSE, Jesse. *Autocar: First for car news and reviews*. [online]. 2014 [cit. 10.5.2015].  
Dostupné z: <http://www.autocar.co.uk/car-news/new-cars/design-development-and-applications-magneride-suspension>
- [21] Audi Magnetic Ride – possible retrofit?. *Kilometer magazine*. [online]. 2008 [cit. 10.5.2015].  
Dostupné z: <http://forums.kilometermagazine.com/showthread.php?3905615-Audi-Magnetic-Ride-possible-retrofit>
- [22] MagneRide Controlled Suspension System. *BWI group: Driving technology*. [online]. 2013 [cit. 10.5.2015].  
Dostupné z: <http://www.bwigroup.com/en/pshow.php?pid=22>
- [23] The AIRMATIC air suspension system. *Mercedes-Benz: Innovation*. [online]. [cit. 12.5.2015].  
Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/the-airmatic-air-suspension-system/>
- [24] W220 AIRMATIC PROBLEEM. *Mercedesforum: Technische vragen*. [online].  
Dostupné z: <http://www.mercedesforum.nl/forum/viewtopic.php?f=46&t=68556>
- [25] Hydractive 3. MARTIŇÁK, Matúš. *C5 club: Hydraulický systém*. [online]. [cit. 12.5.2015].  
Dostupné z: <http://www.c5club.cz/clanky/vseobecne-informace-o-c5/hydraulicky-system/hydractive-3#.VVKIbPntmCg>
- [26] Citroën C5 Hydractive 3. *BX club: Hydractive*. [online].  
Dostupné z: <http://devel.bxclub.cz/articles/c5-technical-info/hydractive/citroen-c5-hydractive-3>
- [27] Getting to know Hydractive 3+. *C6 owners: C6 Support*. [online]. 2012 [cit. 12.5.2015].  
Dostupné z: [http://c6owners.org/plugins/forum/forum\\_viewtopic.php?11903.post](http://c6owners.org/plugins/forum/forum_viewtopic.php?11903.post)



- [28] Hydractive 3+. *C5 club: Technical stuff*. [online].  
Dostupné z: <http://www.c5club.com/showpic/technical-stuff/17176466>
- [29] Mercedes-Benz SL: Jak funguje Active Body Control. DRAGON, Aleš. *Auto.cz: Technika*. [online]. 2012 [cit. 13.5.2015].  
Dostupné z: <http://www.auto.cz/mercedes-benz-active-body-control-video-68378>
- [30] MAGIC BODY CONTROL. *Mercedes-Benz: Innovations*. [online]. [cit. 13.5.2015].  
Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/magic-body-control/>
- [31] Bose active suspension diagram. *Extreme Tech*. [online].  
Dostupné z: <http://www.extremetech.com/extreme/97177-bose-active-suspension-moves-toward-market/attachment/bose-active-suspension-diagram>



## Zoznam Použitých Skratiek a Symbolov

d	[m]	priemer drôtu	[meter]
D	[m]	výpočtový priemer pružiny	[meter]
$E_p$	[J]	potenciálna energia zaťaženej pružiny	[Joule]
F	[N]	sila pružiny	[Newton]
G	[Pa]	modul pružnosti v šmyku	[Pascal]
k	[-]	tuhosť tlačnej pružiny	[bez jednotky]
$K^*$	[Nm]	tuhosť systému	[Newtonmeter]
$M^*$	[kg·m <sup>2</sup> ]	zotrvačné účinky sústavy	[kilogram·meter <sup>2</sup> ]
n	[-]	počet činných závitov	[bez jednotky]
W	[J]	práca potrebná k deformácií pružiny	[Joul]
x	[m]	výchylka konca pružiny	[meter]
$\omega_0$	[rad·s <sup>-1</sup> ]	vlastná uhlová frekvencia kmitov	[radián·sekunda <sup>-1</sup> ]
	[A]	Amper	
	[Hz]	Hertz	
	[km/h]	kilometer za hodinu	
	[ms]	milisekunda	
	[V]	Volt	
	[W]	Watt	
	[°C]	stupeň Celsia	
	[%]	percento	



## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.1 SAE súradnicový systém vozidla [1] .....	11
Obr. 1.2 Tlmenie kmitania [3] .....	12
Obr. 1.3 Cieľový konflikt pri návrhu tlmenia/pruženia vozidla [5] .....	13
Obr. 1.4 Systém odpruženia vozidla [2] .....	13
Obr. 1.5 Model odpruženia [3] .....	14
Obr. 1.6 Predná náprava, lichobežníková (Mercedes-Benz trieda C (W205)) [7] .....	15
Obr. 1.7 Mostová náprava s listovými pružinami [8] .....	16
Obr. 1.8 Náprava s pozdĺžnymi a jedným priečnym (Panhardská tyč) [8] .....	17
Obr. 1.9 Wattov priamovod [8] .....	17
Obr. 1.10 Náprava De-Dion [8] .....	17
Obr. 1.11 Predná náprava McPherson (Audi S3 Sportback) [9] .....	18
Obr. 1.12 Zadná kľuková náprava (VW Polo) [10] .....	18
Obr. 1.13 Zadná kyvadlová (uhlová) náprava (BMW 3, 1994) [11] .....	18
Obr. 1.14 Viacprvková zadná náprava (Mercedes-Benz trieda C (W205)) [7] .....	18
Obr. 2.1 Konštrukcia listovej pružiny [13] .....	19
Obr. 2.2 Porovnanie konštrukcií listových pružín [5] .....	20
Obr. 2.3 Vyhotovenia koncov vinutých tlačných pružín [12] .....	21
Obr. 2.4 Vinutá pružina s premenlivým priemerom drôtu(jednostranne kónický) [5] .....	21
Obr. 2.5 Miniblokové progresívne pružiny so súočkovým a kuželovým tvarom [5] .....	21
Obr. 2.6 Umiestnenie skrutnej tyče na vozidle [2] .....	22
Obr. 2.7 Pružina z penového polyuretánu a jej deformačná charakteristika [5] .....	23
Obr. 2.8 Zjednodušený piestový model plynovej pružiny [5] .....	23
Obr. 2.9 Princíp plynových pružín [5] .....	24
Obr. 2.10 Vzduchové pružiny [5] .....	24
Obr. 2.11 Deformačné charakteristiky vzduchových pružín [5] .....	24
Obr. 2.12 Tlmiaci ventil hydropneumatickej pružiacej jednotky Hydractive [5] .....	25
Obr. 2.13 Hydropneumatická pružiaca jednotka Hydractive [5] .....	25
Obr. 2.14 Dvojplášťový kvapalinový tlmič [2] .....	26
Obr. 2.15 Princíp funkcie dvojplášťového tlmiča [14] .....	27
Obr. 2.16 Jednoplášťový plynokvapalinový tlmič [2] .....	28
Obr. 2.17 Princíp funkcie jednoplášťového tlmiča [14] .....	28
Obr. 2.18 Piest PSD tlmiča v oblasti obtokového kanála a mimo tejto oblasti [5] .....	29
Obr. 2.19 Porovnanie pôvodnej a novej konštrukcie tlmičov SENSE-TRAC [2] .....	30
Obr. 2.20 Konštrukcia ventilov [2] .....	30
Obr. 2.21 Tlmič DCD [5] .....	31
Obr. 2.22 Popis tlmiča Nivomat [14] .....	32
Obr. 2.23 CDCi (vľavo), CDCe (vpravo) [15] .....	33
Obr. 2.24 Častice magneto-rheologickej kvapaliny [17] .....	34
Obr. 2.25 Zmeny štruktúry MR kvapaliny [17] .....	34
Obr. 2.26 Rez magneto-reologickým tlmičom [17] .....	35
Obr. 3.1 Systémy odpruženia [5] .....	36
Obr. 3.2 Štvrtinový model hlavných typov systému odpruženia [5] .....	36
Obr. 3.3 Adaptívna regulácia tlmičov [5] .....	37
Obr. 3.4 EDC (Bosch) [5] .....	38
Obr. 3.5 Skyhook stratégia [14] .....	39
Obr. 3.6 Popis častí CDC systému [14] .....	39
Obr. 3.7 Modernizovaný CDC4 systém [14] .....	40



---

Obr. 3.8 Hlavné časti systému MagneRide [21].....	41
Obr. 3.9 AIRmatic (Mercedes-Benz S-trieda (W220)) [24].....	42
Obr. 3.10 Hydractive 3 (Citroën C5)[26] .....	43
Obr. 3.11 Hydractive 3+ [28] .....	44
Obr. 3.12 Princípy aktívneho odpruženia:[5] .....	45
Obr. 5.1 Vplyv MBC systému na karosériu vozidla počas jazdy [30] .....	47
Obr. 5.2 MRC Bose [31] .....	48