



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

# MECHANISMY ODPRUŽENÍ PRO ZLEPŠENÍ JÍZDNÍHO KOMFORTU

RIDE COMFORT IMPROVING SUSPENSION MECHANISMS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Kuric

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MUDr. Marek Bradávka

BRNO 2016

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Michal Kuric**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **MUDr. Marek Bradávka**  
Akademický rok: 2015/16

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:

### **Mechanismy odpružení pro zlepšení jízdního komfortu**

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

Bakalářská práce by měla obsahovat rešerši mechanismů odpružení vozidel a jejich částí pro dosažení maximálního jízdního komfortu.

#### **Cíle bakalářské práce:**

- 1) Charakteristika jízdního komfortu.
- 2) Možnosti hodnocení jízdního komfortu.
- 3) Popis konstrukcí a činnosti mechanismů odpružení.
- 4) Nástin vývojových trendů mechanických systémů v oblasti jízdního komfortu.

#### **Seznam literatury:**

JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B., ČUPERA, J.: Automobily (1): Podvozky. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-11-7.

GILLESPIE, T. D.: Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. ISBN 1-56091-199-9.3.

REIMPELL, J.: The Automotive Chassiss. 2nd edition. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2001. 444 s. ISBN 0-7506-5054-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 23. 11. 2015



---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
ředitel ústavu

---

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



## **ABSTRAKT**

Bakalárska práca sa zaoberá zhrnutím mechanizmov odpruženia, ktorých cieľom je zlepšenie jazdného komfortu. Zároveň definuje základnú veličinu ovplyvňujúcu kvalitu jazdy z hľadiska odpruženia . Súčasne poukazuje na možnosti budúceho vývoja.

## **KLÍČOVÉ SLOVÁ**

Jazdný komfort, vibrácie, podvozok, mechanizmy odpruženia

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis is concerning the summary of suspension mechanisms increasing the driving comfort. In addition, it defines the basic value influencing the quality of driving in terms of suspension, and is pointing at the possibilities of future development.

## **KEYWORDS**

Driving comfort, vibrations, chassis, suspension mechanism



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

KURIC, M. *Mechanismy odpružení pro zlepšení jízdního komfortu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 40 s. Vedoucí diplomové práce MUDr. Marek Bradávka.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením MUDr. Mareka Bradávky a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 25. mája 2016

.....  
Michal Kuric



## **POĎAKOVANIE**

Týmto by som chcel poďakovať môjmu vedúcemu práce MuDr. Marekovi Bradávkovi za ochotný prístup pri vypracovávaní tejto práce. Zároveň by som chcel poďakovať za odborné rady Ing. Ondrejovi Blatákovovi, Ph.D. Vďaka vyjadrujem týmto aj mojej rodine za podporu v štúdiu.



## OBSAH

Úvod .....	10
1 Charakteristika jazdného komfortu .....	11
1.1 Štvrtinový model vozidla .....	11
1.2 Veličiny merania jazdného komfortu.....	12
1.2.1 Veličiny merania z hľadiska mechanického kmitania vozidla .....	12
1.2.2 Senzory merania z hľadiska mechanického kmitania vozidla.....	13
1.2.3 Experimentálne metódy z hľadiska mechanického kmitania vozidla .....	14
2 Popis mechanizmov odpruženia .....	15
2.1 Mechanizmy odpruženia medzi nadstavbou a vozovkou .....	15
2.1.1 Systémy zavesenia .....	15
2.1.2 Systémy odpruženia.....	17
2.2 Mechanizmy odpruženia medzi vodičom a nadstavbou .....	28
2.2.1 Odpruženie kabíny.....	29
2.2.2 Odpruženie sedadla.....	31
3 Návrhy na zlepšenie.....	33
3.1 Adaptívna charakteristika sedáku .....	33
3.1.1 Charakteristika problematiky .....	33
3.1.2 Návrh na odstránenie problému.....	33
3.1.3 Možnosť budúceho riešenia.....	33
4 Vývojové trendy v oblasti jazdného komfortu .....	34
4.1 Mechanizmy odpruženia s lineárnymi elektromotormi .....	34
4.2 Regulácia odpruženia prostredníctvom vonkajších informácií.....	34
4.3 Odpruženie na princípe magnetických levitácie .....	35
Záver.....	36
Zoznam použitých skratiek a symbolov .....	39
Zoznam obrázkov .....	40



## ÚVOD

Problematika jazdného komfortu sprevádza človeka už od počiatkov jeho prepravy. Človek sa chce cítiť počas transportu z miesta na miesto pohodlne a zvládnuť čo najväčšie vzdialenosti s minimálnou únavou. Vo vozidle ho dokáže ovplyvniť veľa faktorov ako napríklad mechanické otrasy, vnútorná hlučnosť, ergonómia vnútorného priestoru, výhľad z vozidla, prvky aktívnej a pasívnej bezpečnosti a mnoho ďalších činiteľov. Za najpodstatnejšie sa dá však označiť vznik otrasov po prejení nerovností vozovky. Hlavnú úlohu v tomto smere zohrávajú mechanické systémy odpruženia, na ktoré sa v tomto ohľade kladú vysoké nároky.

### **FORMULÁCIA PROBLÉMU A CIEĽU PRÁCE**

Vypracovať rešerši mechanizmov odpruženia pre zlepšenie jazdného komfortu.

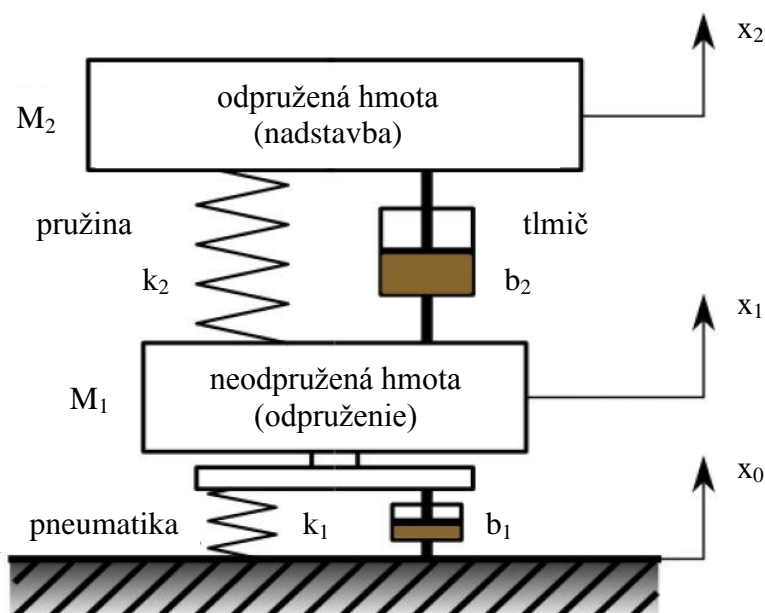


# 1 CHARAKTERISTIKA JAZDNÉHO KOMFORTU

Jazdný komfort, inak povedané aj komfort jazdy alebo pohodlie jazdy, sa môže definovať ako súbor podmienok, ktoré vo vozidle tvoria prostredie vyvolávajúce čo najmenšiu fyzickú a psychickú námahu prepravovaných osôb. Cieľom je zabrániť vzniku únavy hlavne u vodiča. Tá totiž znižuje jeho výkon a reakčné schopnosti, čím sa zvyšuje možnosť vzniku dopravnej nehody. Taktiež je cieľom zabrániť poškodeniu zdravia vodiča a prepravovaných osôb. Najväčší vplyv má nízkofrekvenčné mechanické kmitanie vozidla, avšak netreba zanedbávať ani vplyvy jazdných vlastností, hluku, ergonómie, viditeľnosti, akosti vzduchu atď. [1]

## 1.1 ŠTVRTINOVÝ MODEL VOZIDLA

Jedná sa o model, ktorý má simulovať správanie sa vozidla po prejazde nerovností a to najmä v zvislom smere.



Obr.1.1 Štvrtinový model pasívneho systému odpruženia[5]

$x_0$  – súradnica budiacej dosky

$x_1$  – súradnica neodpruženej hmoty

$x_2$  – súradnica odpruženej hmoty

$k_1$  – konštanta tuhosti pružiny simulujúcej tuhosť pneumatiky

$k_2$  – konštanta tuhosti pružiny

$b_1$  – konštanta tlmenia tlmiča simulujúceho tlmenie pneumatiky

$b_2$  – konštanta tlmenia tlmiča



Môže sa líšiť v závislosti typu použitého pruženia a od toho na čo sa pri danom meraní zameriavame. Základné zložky tvoria odpružená a neodpružená hmota. Ďalej zložky nahradzujúce mechanizmus pruženia, o nich sa zmieňujem v kapitole 2.1.1 časť Tlmiče. Platia diferenciálne rovnice pre odpruženú zložku [6]:

$$\ddot{x}_2 + \frac{b_2 \cdot (x_2 - x_1)}{m_2} + \frac{k_2 \cdot (x_2 - x_1)}{m_2} = 0 \quad (1)$$

a pre zložku neodpruženú [6]:

$$\ddot{x}_1 + \frac{b_2 \cdot (x_1 - x_2)}{m_1} + \frac{k_2 \cdot (x_1 - x_2)}{m_1} + \frac{b_1 \cdot (x_1 - x_0)}{m_1} + \frac{k_1 \cdot (x_1 - x_0)}{m_1} = 0 \quad (2)$$

## 1.2 VELIČINY MERANIA JAZDNÉHO KOMFORTU

Veličiny merania závisia od toho na aký prvok ovplyvňujúci jazdný komfort sa zameriame. Vzhľadom na to že táto práca sa zameriava na mechanizmy odpruženia, najdôležitejšiu úlohu tvorí mechanické kmitanie vozidla (vznik vibrácií).

### 1.2.1 VELIČINY MERANIA Z HLADISKA MECHANICKÉHO KMITANIA VOZIDLA

Vplyv a meranie vibrácií na človeka bližšie špecifikuje norma ČSN ISO 2631-1. Ľudský organizmus tvorí z hľadiska kmitania zložitý systém, preto že vníma ako aj veľkosť zrýchlenia tak i frekvenciu a smer kmitavého pohybu. Pôsobením vibrácií nastáva vynútené kmitanie častí organizmu alebo celého tela, dokonca môžu nastať výrazné rezonančné javy ak sa vibrácie približujú budiacej a vlastnej frekvencii. To má vplyv na pocit pohodlia vodiča a v prípade dlhodobého vystavenia vibráciám aj na zdravotný stav, hlavne na lumbálnu oblasť chrbtice. Veličiny, ktoré vyjadrujú vplyv kmitania na ľudský organizmus sú intenzita kmitania, vyjadrená tzv. váženou efektívnou hodnotou (smerodajnou odchýlkou) zrýchlenia kmitavého pohybu, frekvencia kmitavého pohybu, smer a čas pôsobenia kmitania. Vážená efektívna hodnota sa počíta podľa vzorca [1] [4]:

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$T$  – doba merania (s),

$a_w(t)$  – vážené zrýchlenie (translačné alebo uhlové) ako funkcia času ( $m \cdot s^{-2} / rad \cdot s^{-2}$ )

Na hodnotenie kmitania (vibrácií) sa môže použiť viacero metód. Hlavná metóda používa už spomínanú váženú efektívnu hodnotu zrýchlenia (3). Ďalej sa pri tejto metóde definuje činiteľ výkmitu<sup>1</sup>. Ten sa používa na posúdenie, či je základná metóda vhodná na popisovanie intenzity vibrácií vo vzťahu k jej účinkom na človeka. Ak je hodnota činiteľa výkmitu nižšia ako 9, tak stačí použiť základnú metódu. V prípade vyššej hodnoty ako 9, výskytu náhodných rázov a prechodových vibrácií sa odporúča použiť jednu z alternatívnych metód (metóda priebežnej

<sup>1</sup> činiteľ výkmitu je definovaný ako modul pomeru najvyššej okamžitej špičkovej hodnoty frekvenčne váženého signálu zrýchlenia k jeho efektívnej hodnote [4]



efektívnej hodnoty, metóda štvrtej mocniny dávky vibrácií). Pred integrovaním časového priebehu frekvenčne váženého zrýchlenia sa musí určiť príslušné frekvenčné váženie, pretože spôsob ovplyvnenia je závislý na frekvenčnom zložení vibrácií. V prípade pôsobenia na pohodlie sú hodnoty frekvenčného váženia dostupné v norme ISO 2631-1. Pri hodnotení sa musí na povrchu, ktorý podopiera osobu určiť efektívna vážená hodnota zrýchlenia v každej ose translačných vibrácií. (osy x,y,z). [4]

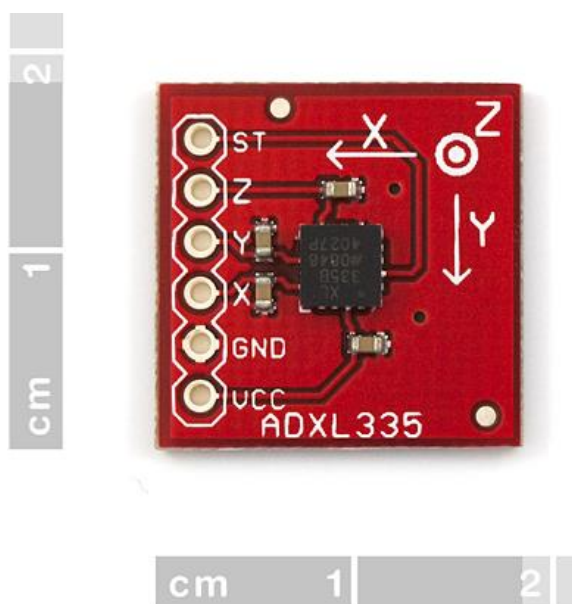
Prijateľné hodnoty veľkosti vibrácií sú závislé na mnoho faktoroch. V norme ISO 2631-1 sú uvedené približné údaje pravdepodobných reakcií na rôzne veľkosti celkových súhrnných hodnôt vibrácií. Tie môžeme použiť na vyhodnotenie výsledkov, ako je uvedené v Tab.1. [4]

Tab. 1: Subjektívne vnímanie vibrácií v závislosti na ich veľkosti[4]

Veľkosť vibrácií	Vnímanie vibrácií
Nižšie ako $0,315\text{m/s}^2$	Nie sú nepohodlné
$0,315\text{m/s}^2$ až $0,63\text{m/s}^2$	Trocha nepohodlné
$0,5\text{m/s}^2$ až $1\text{m/s}^2$	Prijateľne nepohodlné
$0,8\text{m/s}^2$ až $1,6\text{m/s}^2$	Nepohodlné
$1,25\text{m/s}^2$ až $2,5\text{m/s}^2$	Veľmi nepohodlné
Vyššie ako $2\text{m/s}^2$	Extrémne nepohodlné

### 1.2.2 SENZORY MERANIA Z HLADISKA MECHANICKÉHO KMITANIA VOZIDLA

Senzory, ktoré merajú vážené zrýchlenie sa nazývajú akcelerometre. Tie môžeme konštrukcie rozdeliť na kapacitné, tepelné, piezoelektrické a piezorezistívne. Merajú ako dynamické tak aj gravitačné zrýchlenie, buď len v jednej osi alebo v troch osiach. Gravitačná zložka je prítomná vždy a treba ju filtrovať. To sú všetko faktory, ktoré treba vziať do úvahy pri počiatku meraní. Výber vhodných senzorov je kľúčový. V automobilovom priemysle sa používajú najviac kapacitné a piezorezistívne z dôvodu vyššej citlivosti. [7]



Obr.2.2 Kapacitný 3-osý akcelerometer ADXL 335[15]



### 1.2.3 EXPERIMENTÁLNE METÓDY Z HĽADISKA MECHANICKÉHO KMITANIA VOZIDLA

V prípade merania sa snímač umiestňuje medzi osobu a základné styčné plochy povrchu. Podľa ISO 2631 sa používajú tri základné plochy pre sediace osoby a to operný povrch sedadla, chrbtová opierka sedadla a nohy. Keďže u vozidiel sa vo väčšine prípadov jedná o polstrované sedáky, na zaistenie snímačov používa sa vhodne tvarovaný úchyt. Použitím úchytu nesmie byť silno ovplyvnené tlakové rozloženie na povrchu pružného materiálu. Často užívaná konštrukcia úchytov snímača je uvedená v norme ISO 10326-1. Počas merania na netuhých povrchoch je nutnosť aby osoba mala normálnu polohu v prostredí. Meranie v oblasti nôh sa meria na povrchu, o ktorý sa nohy opierajú. Dĺžka merania musí byť dostatočne dlhá, aby bolo isté, že vibrácie budú odpovedať posudzovanej činnosti a aby sa zabezpečila potrebná štatistická presnosť. [4]



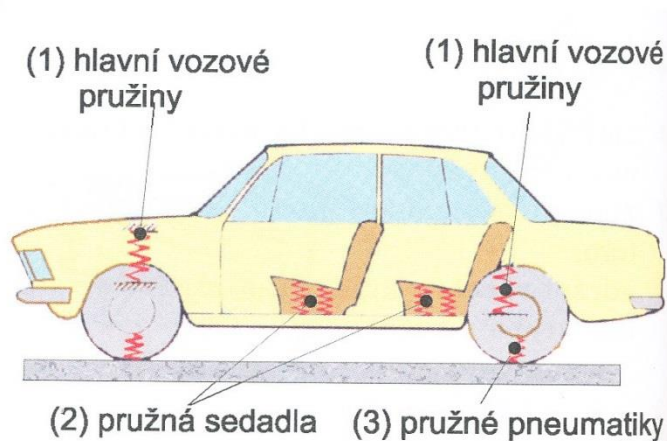
## 2 POPIS MECHANIZMOV ODPRUŽENIA

Mechanizmami odpruženia sa rozumie súbor konštrukčných prvkov, ktorými sa minimalizuje prenos kmitavých pohybov náprav<sup>2</sup> vozidla na jeho podvozkové časti, karosériu a cestujúcich. Cieľom odpruženia je zvyšovať jazdný komfort posádky, ochrániť prenášaný tovar, zvyšovať životnosť komponent karosérie a v neposlednom rade udržať stály styk pneumatiky s vozovkou (ovládateľnosť a bezpečnosť jazdy) . [2]

Mechanizmy odpruženia môžeme rozdeliť na:

- Mechanizmy odpruženia medzi nadstavbou a vozovkou
- Mechanizmy odpruženia medzi vodičom a nadstavbou

Do prvého zo spomenutých spadajú tieto prvky: pneumatiky, tlmiče, pružiny, neodpružené a odpružené hmoty vozidla (obr. 1.1). Do druhého potom odpruženie sedákov a odpruženie kabíny, čo je používané u nákladných automobilov, traktorov a pracovných strojov. [1]



Obr. 2.1 Mechanizmy odpruženia vozidla[3]

### 2.1 MECHANIZMY ODPRUŽENIA MEDZI NADSTAVBOU A VOZOVKOU

#### 2.1.1 SYSTÉMY ZAVESENIA

Zavesenie tvorí vitálny prvok pri tlení prenosu kmitavých vln do karosérie (styk vozovka-vozidlo) a tým pádom sa podieľa aj na zlepšovaní jazdného komfortu. Jedná sa o funkčný celok, ktorý zabezpečuje funkciu kolies vo vzťahu k vozovke a vozidlu. Systémy zavesenia kolesa sú vo všeobecnosti tvorené mechanizmami, pozostávajúcimi zo závesných ramien resp. vzpier, ktoré sú spojené s kolesovou časťou nápravy a s nadstavbou vozidla spojovacími členmi poskytujúcimi vzájomný pohyb. Systémy zavesenia majú 2 základné funkcie [1]:

- Vytvoriť možnosť relatívneho pohybu kolesa voči nadstavbe automobilu buď s jedným alebo dvoma stupňami voľnosti v závislosti na type zavesenia, najmä v zvislom smere resp. zvislej priečnej rovine, rieši kinematické riešenie zavesenia kolesa [1]

<sup>2</sup> náprava je spojovací článok medzi vozovkou a nadstavbou automobilu (karoséria alebo rám)



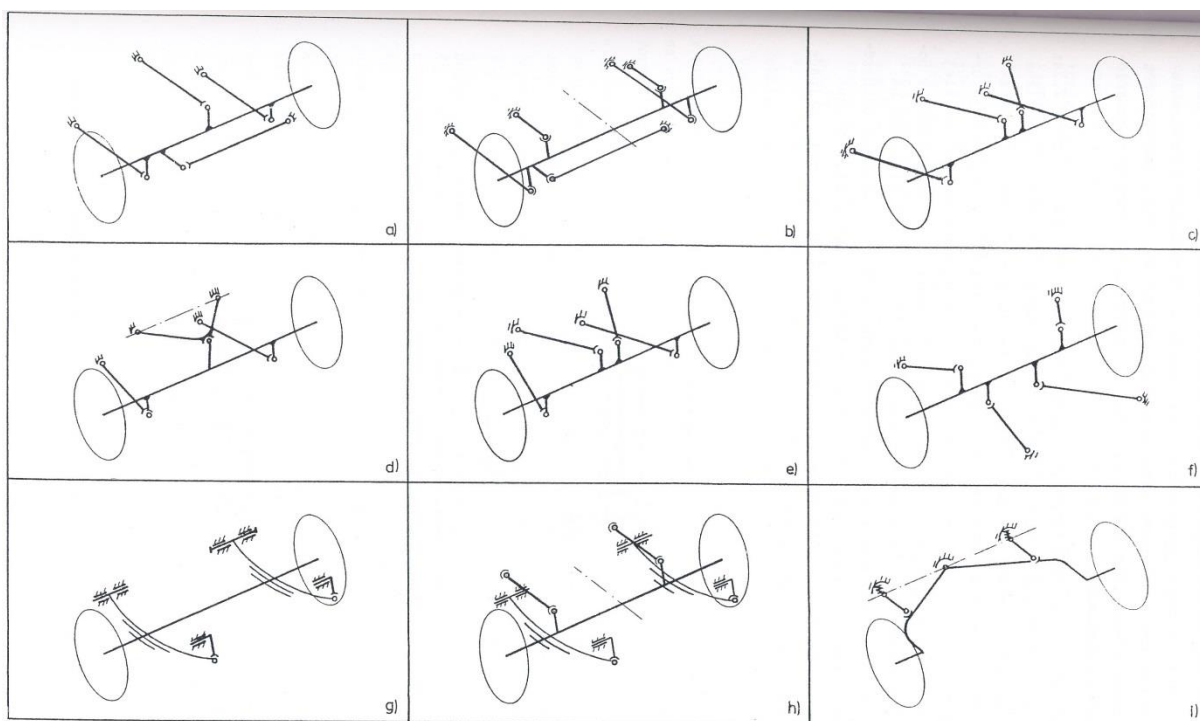
- Prenáša sily a momenty medzi kolesom a nadstavbou automobilu a to sily v zvislej rovine spôsobené hmotnosťou vozidla v kooperácii so systémom odpruženia vozidla a ďalej sily pozdĺžneho charakteru (hnacie a brzdné sily) a ich momenty, rieši silové (statické) riešenie zavesenia kolesa [1]

Systémy zavesenia sa delia na dve základné kategórie:

- Závislé zavesenie – tuhá náprava
- Nezávislé zavesenie – ostatné typy náprav

### ZÁVISLÉ ZAVESENIE

V praxi nazývané aj tuhá náprava, je mechanizmus zavesenia ktorý sa považuje za najstarší čo sa týka zavesenia. Napriek tomu je stále používaný hlavne u nákladných, úžitkových a terénnych automobilov. Názov poukazuje na fakt, že pohyb pravého kolesa je závislý na pohybe ľavého kolesa a opačne. Jej hlavné výhody sú cena a konštrukčná jednoduchosť, z ktorej vychádza vo väčšine prípadov aj ľahká údržba. Nevýhody sú však väčšie zástavbové priestory a oproti nezávislému zaveseniu menšia schopnosť udržať neustály kontakt kolesa s vozovkou. Často krát je doplnená mechanizmami ako Panhartska tyč (obr. 2.2 a,b) alebo Wattov priamovod, ktoré majú za úlohu zabezpečiť priečne vedenie mostu (pozn. pod čiaru) nápravy a prenášať bočné sily. Na obrázku 2.2 sú schematicky zobrazené najčastejšie spôsoby zavesenia. [1] [8]

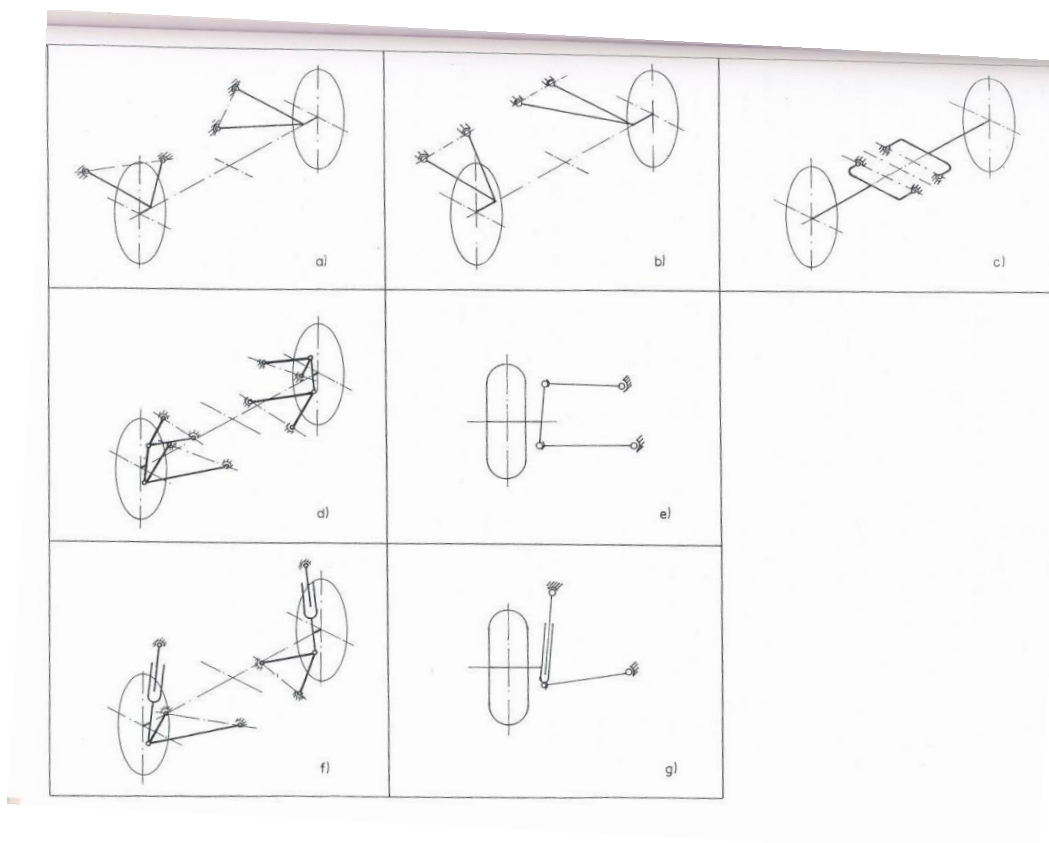


Obr. 2.2 Najčastejšie spôsoby zavesenia tuhej nápravy [1]



## NEZÁVISLÉ ZAVESENIE

Pravé a ľavé koleso pri tomto zavesení už ostávajú na sebe závislé len skrze karosériu. Priama závislosť, čiže spojenie mostom, odpadá. To prináša radu značných výhod a to hlavnej zlepšenie jazdných vlastností a zmenšenie neodpružených častí. To má vplyv hlavne na kvalitu odpruženia. Preto je toto riešenie u súčasných výrobcov aut veľmi obľúbené. Prehľad typov tohto zavesenia sú schematicky zobrazené na obrázku 2.3. [2]



Obr. 2.3 Najčastejšie spôsoby zavesenia tuhej nápravy [1]

### 2.1.2 SYSTÉMY ODPRUŽENIA

Pružením sa z pohľadu stavby automobilu rozumie skupina konštrukčných prvkov, ktoré majú za úlohu pružne spojiť nápravy s nadstavbou vozidla. Dané systémy dopĺňajú vo funkcii systémy zavesenia. Tvoria hlavný prvok v tlmení kmitov a udržaní neustáleho kontaktu s vozovkou. [1]

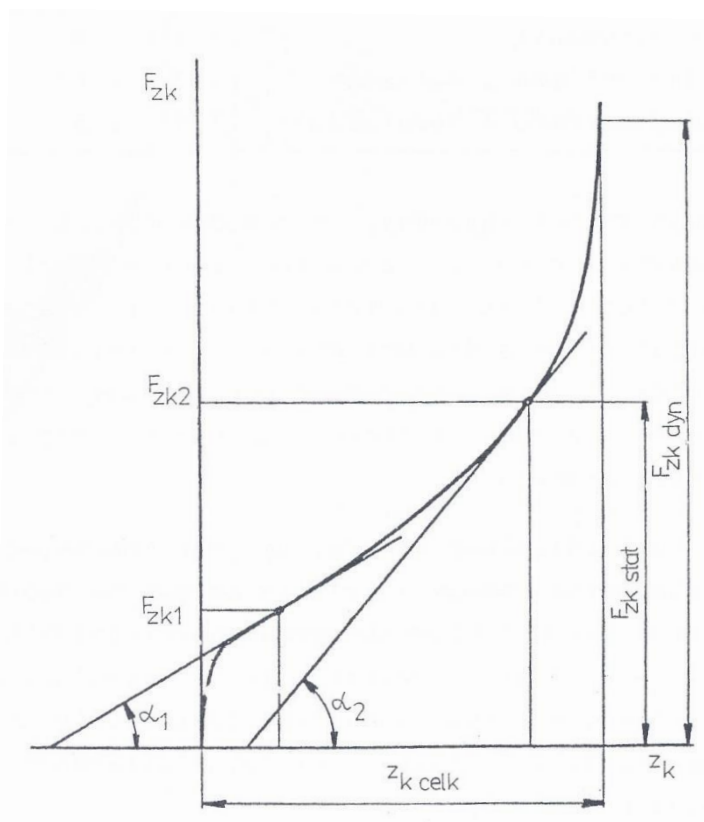
Skladajú sa z pružných a tlmiacich členov. Pružné členy tvoria pneumatiky s radiálnou tuhosťou  $k_1$  a pružiny s tuhosťou  $k_2$ . Tlmiace členy zahŕňajú tlmiče so súčiniteľom tlmenia  $b_2$  a okrajovo aj pneumatiky so súčiniteľom tlmenia  $b_1$ . [1]

### PNEUMATIKY

Tento prvok je ako pružné teleso súčasťou dynamickej sústavy vozidla. Pôsobí svojou pružnosťou v radiálnom smere ako neaktívny (pasívny) pružný člen, ale zároveň svojou obvod-



vou nerovnomernosťou ako budič kmitania dynamickej sústavy vozidla. Čo sa týka radiálnej tuhosti pneumatiky, je určená ako pomer zmeny radiálnej sily (zaťaženia)  $F_z$  a zodpovedajúcej zmeny radiálnej deformácie  $z$  v určitom bode deformačnej charakteristiky (obr 2.4). [1]



Obr. 2.4 Úplná charakteristika odpruženia kola [1]

$F_{zk1}$  – zvislá sila kola zodpovedajúca nezaťaženému vozidlu,

$F_{zk2}$  – zvislá sila kola zodpovedajúca plne zaťaženému vozidlu

Pri jazde dochádza k striedavému odľahčovaniu a zaťažovaniu pneumatiky. Z tejto činnosti je možné získať úplnú deformačnú charakteristiku. Dosahuje tvar hysteréznej slučky. Jej plocha je úmerná stratovej energii, ktorá vzniká pri deformácii pneumatiky, mechanická energia sa mení na tepelnú. Hysterézne straty taktiež vznikajú trením častí behúňa o podklad v dôsledku preklzov v styčnej ploche. Opísaná hystereza teda určuje dynamickú radiálnu tuhosť, ktorá je dôležitejšia z hľadiska jazdného komfortu. Závisí od rýchlosti jazdy, tlaku nahustenia pneumatiky a typu konštrukcie nosnej štruktúry plášt'a. [1]

## PRUŽINY

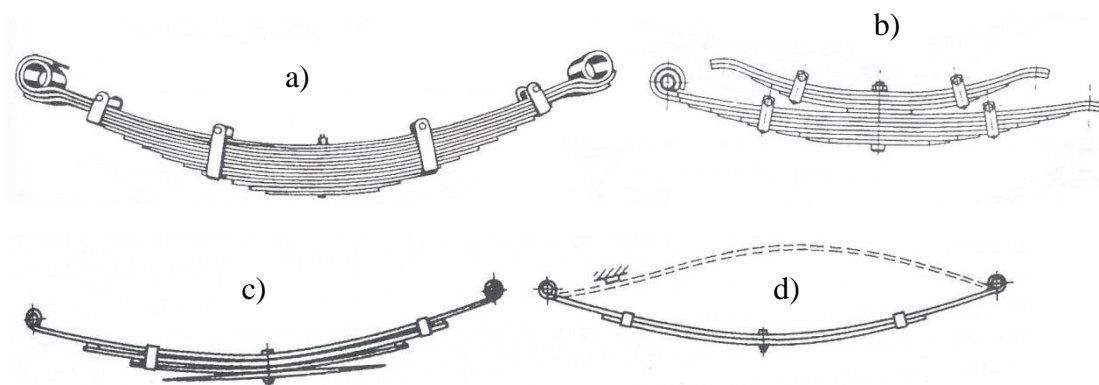
Tvoria základnú časť systému odpruženia. Ich tuhosť by mala byť z hľadiska komfortu malá. To však zvyšuje riziko straty kontaktu kola s vozovkou. Preto je snaha nájsť kompromis medzi pohodlným a športovým zvezením.



### Listové pružiny

V minulosti majoritne používaná pre svoju jednoduchosť a vysokú nosnosť. Často plní aj funkciu zavesenia kolesa (mostu) pričom prenáša sily pozdĺžne aj priečne. Z hľadiska zaťaženia to je pružný nosník, uložený svojimi koncami na dvoch podperách, zaťažený približne v strede silou  $F_p$  pôsobiaceou kolmo na os nosníka. To spôsobuje ohybové zaťaženie. Je konštruovaná približne ako nosník stálej pevnosti, ohybové napätie je vo všetkých priečných rezoch rovnaké. Je to výhodné z dôvodu dosiahnutia minimálnej hmotnosti. [1]

Pre úpravu deformačnej charakteristiky je možné použiť pružinu s prídavným listom (obr. 2.5c), pružinu so zmenou činnnej dĺžky (obr. 2.5d) alebo pružinu s prídavnou pružinou (obr. 2.5b). [1]

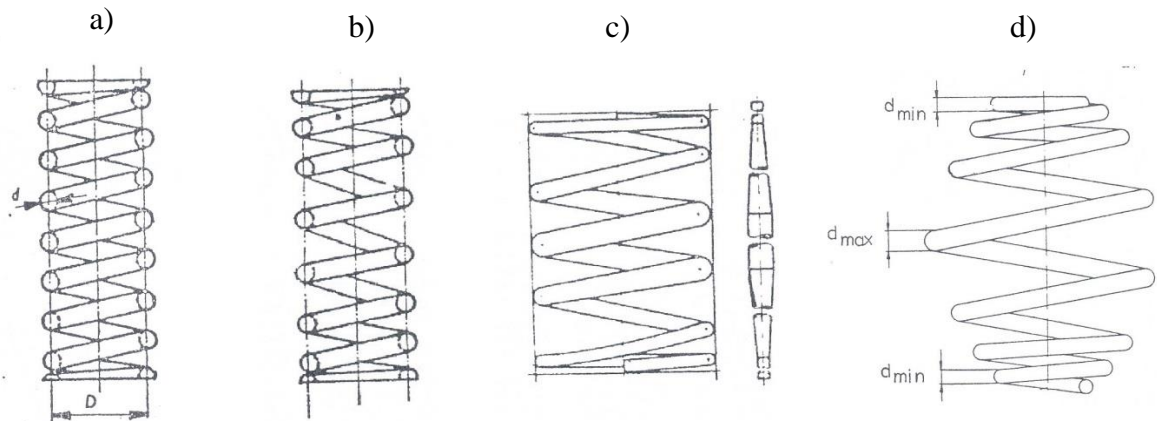


Obr. 2.5 Listové pružiny; a) – obyčajná listová pružina, b) – listová pružina s prídavnou pružinou, c) – listová pružina s prídavným listom, d) – listová pružina so zmenou činnnej dĺžky [2]

### Vinuté pružiny

U osobných automobilov sú najrozšírenejšie valcové tlačné vinuté pružiny s kruhovým prierezom drôtu, ako je zobrazené na obrázku 2.6a. Drôt je namáhaný krutom. V priečnom reze drôtu je v prípade takejto pružiny šmykové napätie rovnaké v celej jej dĺžke. Oproti listovej pružine má radu výhod a to najmä menšiu hmotnosť, to je spôsobené lepším využitím materiálu, jednoduchším uložením vo vozidle (nepotrebnosť čapov), prakticky nulové trenie pri deformácii a nepotrebnosť údržby počas jej životnosti. Nevýhodou je nevyužitelnosť pružiny ako zavesenia, pretože nie je schopná prenášať zložky síl kolmé na os pružiny. [1]

Valcová pružina má lineárnu deformačnú charakteristiku. V prípade nutnosti progresívneho chovania použijeme premenlivé stúpanie činných závitov (obr. 2.6b), premenlivý priemer drôtu (obr. 2.6c) alebo premenlivý stredný priemer vinutia pri súčasnom premenlivom priemere drôtu (obr. 2.6d). [1]

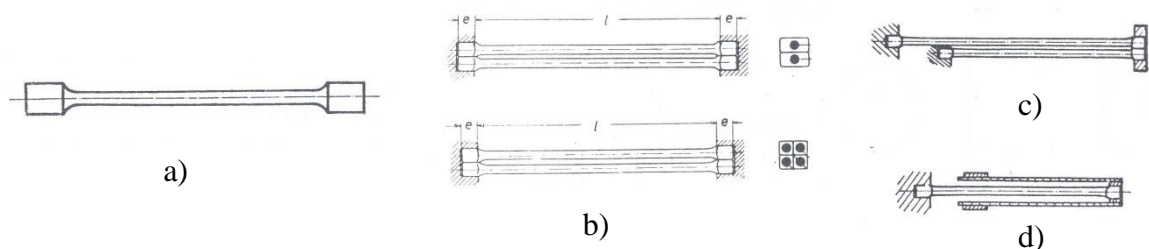


Obr. 2.6 Vinuté pružiny: a) – klasická, b) – s premenlivým stúpaním závitov, c) – s premenlivým priemerom drôtu, d) – s premenlivým stredným priemerom vinutia a súčasne premenlivým priemerom drôtu [1]

### Torzné pružiny

Taktiež nazývaná aj skrutná tyč, je tyč s priamou osou a konštantným, najčastejšie kruhovým, prierezom činnej časti, pričom na jej koncoch sú hlavy, ktoré slúžia na prenos krútiaceho momentu do spomínanej činnej časti (obr. 2.7a). Tyč je namáhaná krútením, po celej dĺžke činnej časti je šmykové napätie rovnaké. Výhody voči listovej poprípade vinutej pružine sú najmä menšia hmotnosť, jednoduché uloženie, prakticky nulové trenie pri deformácii, nepotrebnosť údržby a jednoduchá možnosť nastavenia svetlej výšky vozidla. Nevýhodou predstavuje zložitejšia technologická náročnosť pri výrobe a nemožnosť dosiahnuť progresívnu deformačnú charakteristiku. [1]

U nákladných automobilov sú niekedy používané aj dvojice poprípade štvorice rovnobežných torzných tyčí (obr. 2.7b). Natáčajú sa okolo strednej osy zväzku, preto v jednotlivých tyčiach dochádza ku vzniku prídavného ohybového napätia. Z dôvodu dosiahnutia vyžadovanej deformačnej charakteristiky je v niektorých prípadoch treba veľkú činnú dĺžku pružiny. V obmedzených zástavbových priestoroch sa to rieši použitím dvojicou rovnobežných torzných tyčí v protismernom usporiadaní (obr. 2.7c), poprípade súosou protismernou dvojicou tzn. tyč a rúrka (obr. 2.7d). [1]

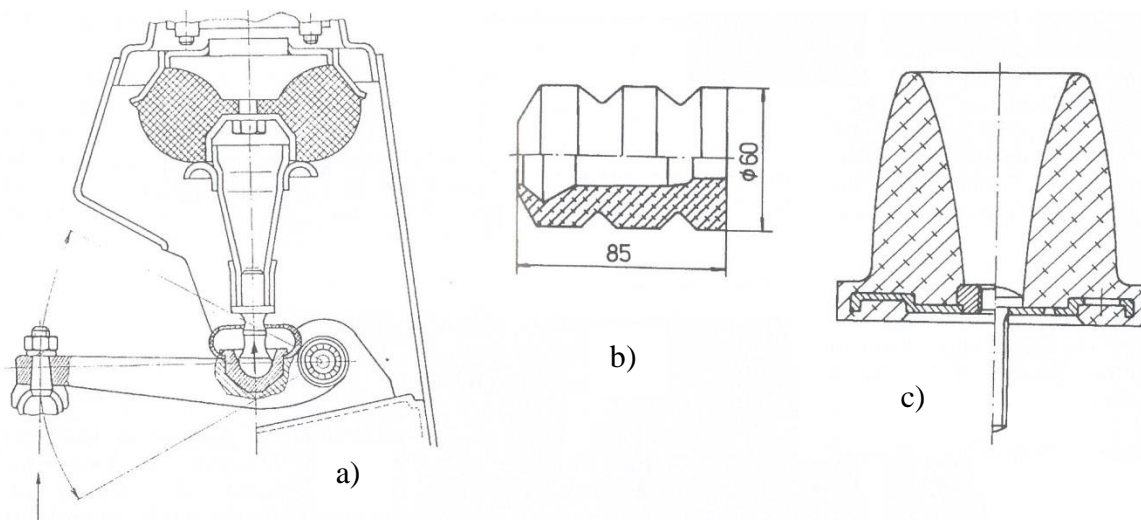


Obr. 2.7 Torzné pružiny: a) – klasická s kruhovým prierezom, b) – dvojica/štvorica torzných tyčí, c) – v protismernom usporiadaní, d) – súosá protismerná dvojica [1]



### Gumové a polyuretánové pružiny

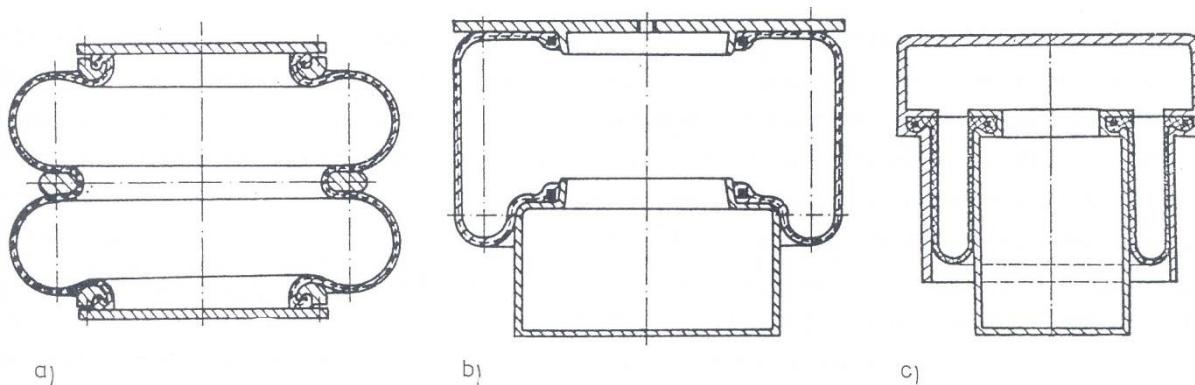
U vozidiel nachádzame pre ne široké uplatnenie v oblasti pruženia, ale aj tlmenia kmitov a vibrácií. Použitie nachádzajú ako prídavne pružiny pre dosiahnutie potrebnej progresívnej charakteristiky pruženia (obr. 2.8b), dorazy pruženia (obr. 2.8c), samostatné pružiacie jednotky (obr. 2.8a), ale aj ako prvky pre pružné uloženie častí vozidla. Najväčšia výhoda je nízka cena, ale taktiež materiál má dlhú životnosť, netreba špeciálnu údržbu a má celkom veľké vlastné tlmenie. Nevýhodou je citlivosť na teplotu, okolité ovzdušie a chemikálie. [2]



Obr. 2.8 Pryžové tlmiace jednotky: a) – samostatná pružiacia jednotka od spoločnosti BMC, b) – prídavná pružina, c) – doraz pruženia [2]

### Vzduchové (pneumatické) pružiny

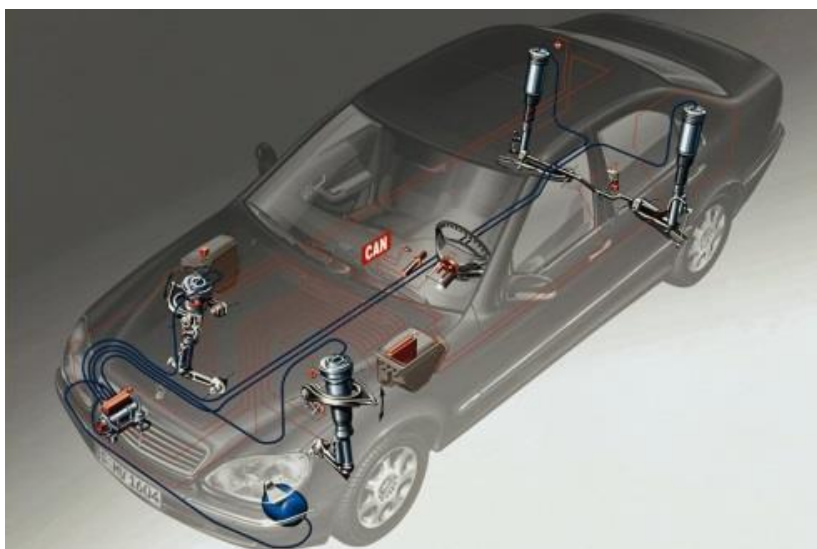
Spolu s hydropneumatickými pružinami patri do skupiny plynových pružín. Vzduchové pružiny majú možnosť výrazného ovplyvnenia deformačnej charakteristiky. To závisí od stlačenia pružiny, ale aj od zmeny pracovného objemu pružiny v základnej polohe. Deformovateľné časti musia mať vysokú pevnosť a odolnosť proti únave a mechanickému porušeniu. Zároveň však musia zabezpečovať dokonalú tesnosť pracovného priestoru. Preto konštrukcia ich steny je v princípe podobná ako pri plášti pneumatiky. [1]



Obr. 2.9 Vzduchové tlmiace jednotky: a) – vlnovcová, b) – vaková, c) – membránová [1]



Ovládacie sústavy sú obvykle usporiadané ako otvorené, pracovné médium je vzduch, ktorý ak je prebytočný odvádza sa z pružín do atmosféry. Veľmi dôležitým prvok je regulačný ventil tzv. regulátor výšky. Jeho úlohou je otvárať prívod alebo odvod vzduchu z poprípadne do pružiny v závislosti od relatívnej polohy nadstavby vozidla vzhľadom na kolesá (nápravu). Najčastejšie sa používajú tri regulátory, pretože vzdialenosť nadstavby od vozovky je vo všeobecnom prípade určená tromi bodmi. Ako ochrana proti prepruženiu sa požívajú gumené prídavné pružiny alebo dorazy. Veľká výhoda plynových pružín je vysoký dosiahnutý komfort jazdy a možnosť regulácie výšky vozidla nad vozovkou. Nevýhody sú však vysoká cena a technická a energetická náročnosť, keďže pružiny musia mať svoju ovládaciu sústavu. Použitie je najmä u nákladných vozidiel, kde je nutnosť určitej konštantne výšky točnice nad vozovkou, poprípadne u autobusov, kde je možnosť naklonenia autobusu pre lepší nástup a výstup. Výhoda je aj prítomnosť zdroja stlačeného vzduchu, keďže sa používa aj pre brzdo-vý systém. Veľmi vyspelý systém sa objavuje aj u automobilov značky Mercedes-Benz s názvom AirMatic. [1] [2]



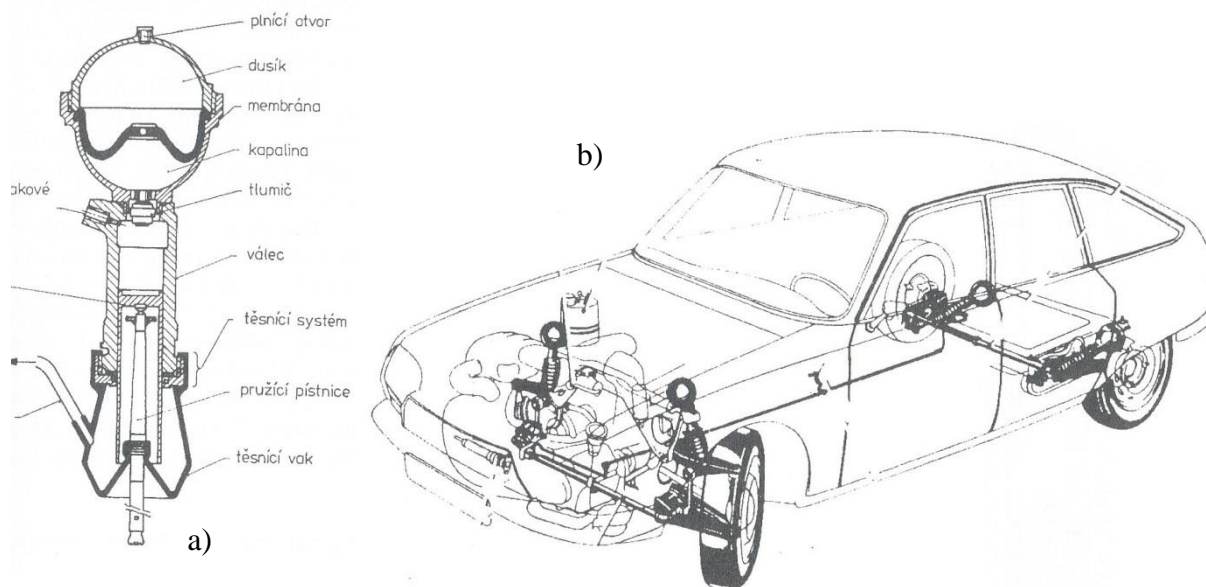
Obr. 2.10 Systém AirMatic vo vozidle Mercedes-Benz S W222 [16]

### Hydropneumatické pružiny

Medzi pracovným priestorom s konštantným množstvom inertného plynu (obvykle dusík) a piestom pružiny je priestor vyplnený kvapalinou. Kvapalina sa pri posuvnom pohybe piesta pohybuje spoločne s ním a vyvoláva zmenu objemu a tlaku plynu v pracovnom priestore. Plynový a kvapalinový priestor je oddelený gumovou membránou. Najtypickejším predstaviteľom je hydropneumatická pružina Citroën (obr.3.1). Na vrchole hydraulického valca je tlaková nádoba guľovitého tvaru. Vnútorňý objem je guľovou membránou rozdelený na dve časti. V hornom priestore je stlačený plyn, v dolnom priestore je kvapalina. Hydraulický valec a dolný priestor tlakovej nádoby je spojený pomocou prietokových ventilov. To umožňuje hydropneumatickej pružine konať aj funkciu tlmiča pruženia. V hornej časti valca je prívod kvapaliny, ktorým možno regulovať výšku nadstavby nad vozovkou. V spodnej časti je piesťnica chránená gumovým vakom. Z neho sa odvádza kvapalina, ktorá prenikla tesniacim systémom späť do nádrže. Systém je uzavretý. S daným systémom prišiel Citroën už v roku 1954



na zadnej náprave modelu Traction Avant (15CV). Nevýhoda oproti čisto pneumatickým pružinám je pohodlie jazdy, ktoré je horšie, avšak výhody sú menšia energetická náročnosť, bezhlučnosť sústavy a menšie celkové rozmery. V súčasnej dobe Citroën avizoval, že s koncom výroby modelu C5 prestane hydropneumatické pruženie vyrábať ako zastaraný a cenovo náročný systém. [1]

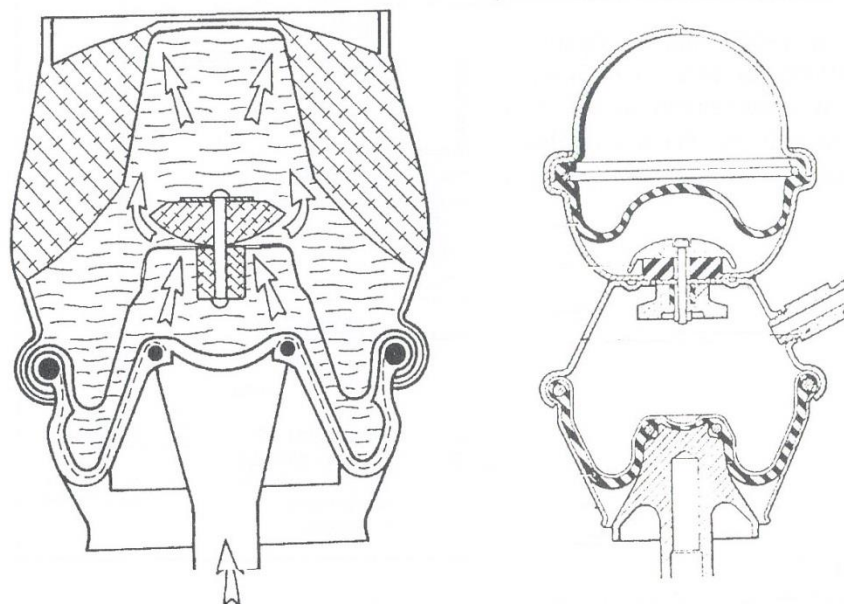


Obr. 2.11 Prierez hydropneumatickou pružinou a jej použitie v praxi (Citroën GS 1978-1984) [2]

### Gumokvapalinové pružiny

Pružným členom týchto pružín je gumový tvarový blok, ktorý je namáhaný podobne ako u gumovej pružiny kombináciou šmyku a tlaku. Medzi kovovou časťou, ktorá prenáša osovú silu pružiny na mechanizmus zavesenia kolesa a gumovým blokom, je priestor naplnený kvapalinou uzavretý gumovou membránou. Aj v prípade týchto pružín je možné použitie ako náhrada tlmiča. Dosiahne sa tým predelením priestoru s kvapalinou na dve časti, pričom v predele sa nachádza prietokový ventil, ktorý plní žiadanú funkciu. Gumokvapalinovú pružinu využívali vo svojich automobiloch hlavne automobily BMC. Niesla názov Hydrolastic (obr. 2.12). Bolo ju možné použiť aj na združené odpruženie<sup>3</sup>. Dosahuje sa progresívneho odpruženia z dôvodu zmeny činnej plochy (odvalovanie membrány po tvarovej vzpere) a taktiež v dôsledku progresívnej charakteristiky gumového bloku ako takého. V prípade Hydrolasticu bola ako kvapalina použitá zmes vody s liehom s antikoróznou prísadou. Tá plní ako nemrznúcu funkciu tak aj konštantnú viskozitu v celom rozmedzí prevádzkových teplôt, čo zabezpečí stálosť tlmiaceho účinku. Na podobnom princípe fungoval aj systém Hydragas (obr. 2.12). [1] [2]

<sup>3</sup> združené odpruženie – prepojenie predného a zadného pružiacieho elementu tak, že sa navzájom ovplyvňujú



Obr. 2.12 Prierez pružinou Hydrolastic vľavo a prierez pružinou Hydragas vpravo [2]

## TLMIČE

Rovnako ako pružiny sú hlavnou časťou mechanizmu odpruženia medzi vozovkou a nadstavbou. Ich úlohou je zaistiť neustály styk kolesa s povrchom, tým že udržiavajú kmitanie neodpružených častí na minimálnych hodnotách. Súčasne však musia tlmiť nárazy od nerovností a zabrániť ich prenosu na karosériu. Správny účinok sa dosahuje zmenou kinetickej energie na teplo a to prostredníctvom hydraulického odporu pri prietoku vhodnými ventilmi. Preto sa používa názov hydraulické tlmiče. V minulosti boli používané tlmiče pákové, v súčasnej dobe sa používajú výhradne tlmiče teleskopické. A to dvojitej konštrukcie: [2]

### Dvojplášťový teleskopický tlmič

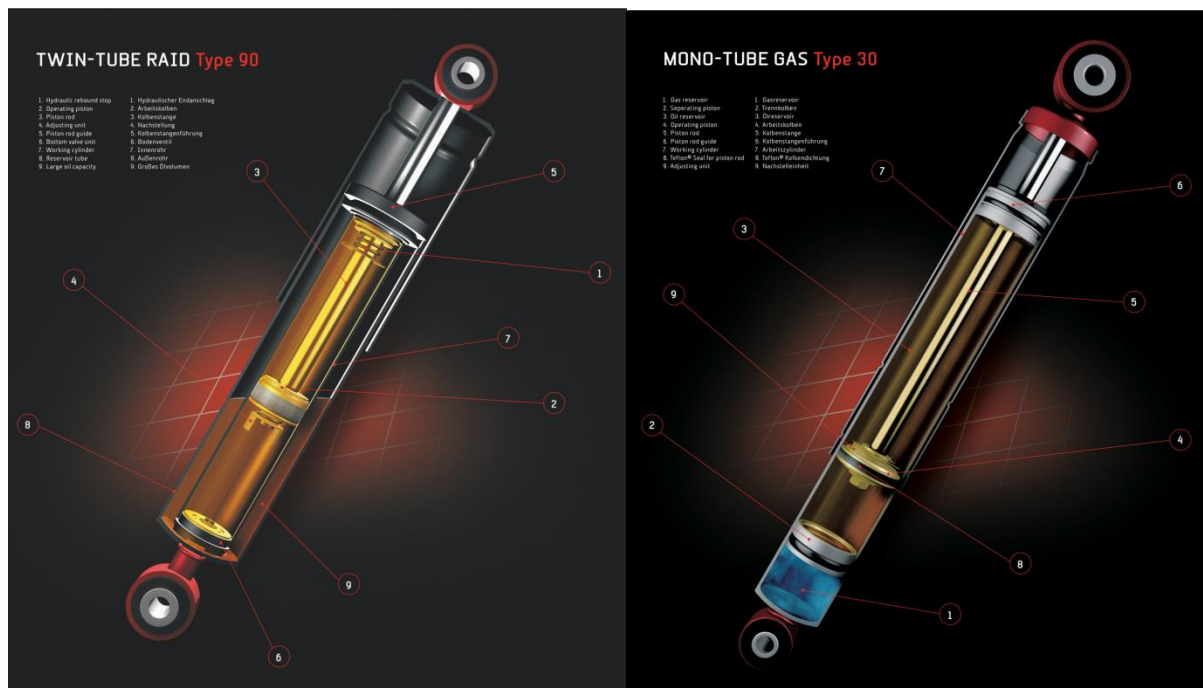
Ako už názov naznačuje konštrukcia tlmiča má dva plášte, ktoré oddeľujú pracovný priestor od vyrovnávacieho priestoru. V pracovnom priestore, ktorý musí byť pre správnu funkciu plne naplnený kvapalinou (nesmie tam byť vzduchový vak), sa pohybuje piestnica s pracovným piestom. Piest má v sebe vhodné ventily, ktoré priškrcojú prúdenie kvapaliny pri pohybe piestnice. Prebytková kvapalina, ktorá je pri pohybe vytlačovaná pracovným piestom, prúdi cez vhodné ventily do vyrovnávacieho priestoru, kde siaha kvapalina približne do polovice. Z toho dôvodu môže tlmič pracovať maximálne pod uhlom  $45^\circ$ , čo zamedzí zavzdušneniu pracovnej oblasti. [2]

### Jednoplášťový teleskopický tlmič

Daný tlmič je v pracovnom priestore doplnený o priestor s plynom a nemá vyrovnávací priestor. Hlavný dôvod tejto konštrukcie je odstránenie penenia kvapaliny ku ktorému dochádza pri prechode škrtiacimi ventilmi v pracovnom pieste. Preto tieto tlmiče nazývame aj plynok-



vapalinové. Tlak plynovej náplne sa pohybuje od 0,3 MPa až do 0,6 MPa. Takýto tlak zabráňuje vzniku bublín pri pohybe piestnice. Priestory môžu byť buď oddelené voľne pohyblivým deliacim piestom, alebo je povrch kvapaliny priamo v styku s plynom, čo vyžaduje dodatočné prvky, ktoré zabránia zmiešaniu. Nevýhodou absencie vyrovnávacieho priestoru však je nedostatočné mazanie vodiaceho púzdra, čo má za následok jeho nižšiu životnosť a taktiež nižšiu životnosť piestnice. [2]

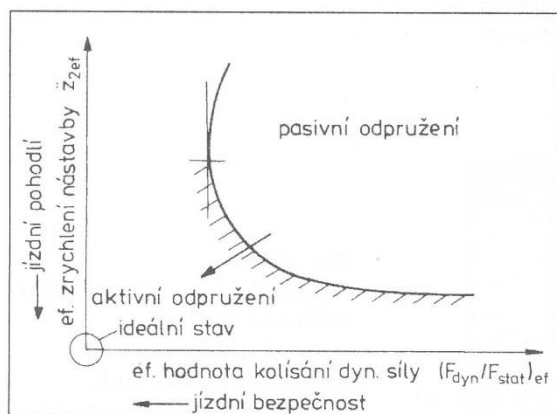


Obr. 2.13 Prierez dvojplášťovým tmičom vľavo a prierez jednoplášťovým tmičom vpravo [17] [18]



## REGULÁCIA ODPRUŽENIA

Z dôvodu snahy o dosiahnutie čo najlepšieho kontaktu kolesa s vozovkou a súčasne čo najväčšieho komfortu vzniká potreba vytvoriť systém, ktorý podľa situácie upraví charakteristiku odpruženia. [2]



Obr. 2.14 Graf vyjadrujúci konflikt medzi bezpečnosťou a jazdným pohodlím pri návrhu odpruženia vozidla[2]

Tieto systémy môžeme rozlíšiť na [2]:

- Konvenčné (pasívne)
- Adaptívne (pomalé), poprípade Semiaktívne (rýchle)
- Aktívne pomalé
- Aktívne rýchle

Rozdiely okrem rýchlosti regulácie účinku sú tiež v počte ovládaných členov. Zatiaľ čo u adaptívneho a semiaktívneho systému sa reguluje len jeden prvok odpruženia, buď tlmič alebo pružina, u aktívneho dochádza k úprave charakteristiky u oboch prvkov. [2]

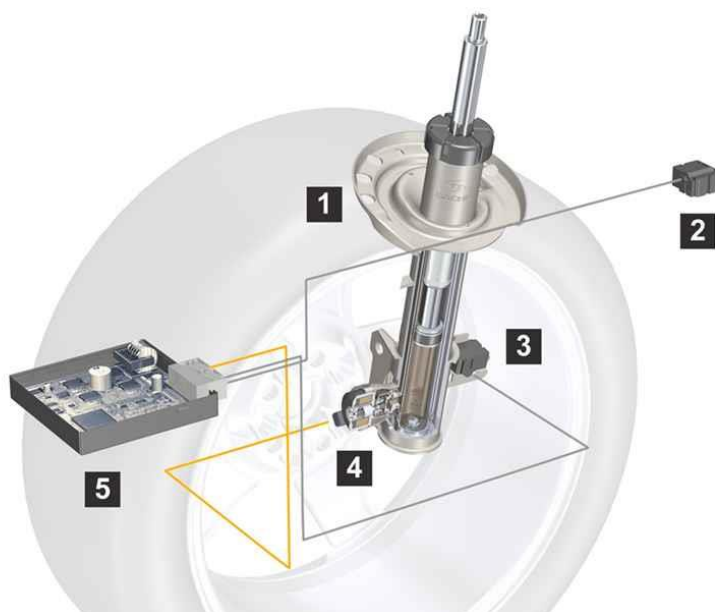
### Adaptívne systémy

U daných systémov dochádza k variabilnému tlmeniu kmitania v zvislom smere. Nastavuje sa tlmič buď vodičom alebo prostredníctvom riadiacej jednotky. Tlmič môže mať nastavených viacero charakteristík, napríklad mäkkú, strednú, tvrdú atď. u adaptívnych systémov platí, že po nastavení sa tlmič chová konvenčne. Zástupca týchto systémov je Elektronické riadenie tlmičov EDC. Za pomoci riadiacej jednotky a viacerých senzorov rýchlo reguluje charakteristiku tvrdosti odpruženia v závislosti na jazdných podmienkach. Je schopný reagovať na prudké zrýchlenie, brzdenie a zmeny smeru. Zároveň poskytuje vodičovi aj manuálnu voľbu. [2]



### Semiaktívne systémy

Rovnako ako u adaptívnej varianty aj tu dochádza k regulovaniu charakteristík tlmiča. Rozdiel je však v tom, že tu nedochádza k obmedzeniu sa na ich určitý počet. Tlmenie môže byť riadené v hocijakom bode. To umožňuje tlmič s variabilným účinkom. Jeho servoventil je schopný do 10ms ovplyvniť prietok medzi pracovnými priestormi tlmiča. Jedná sa o najčastejšie používaný systém, vzhľadom na jeho malé zástavbové rozmery, nízku hmotnosť, obstojnú spoľahlivosť a malú energetickú náročnosť. Príklad takéhoto systému je CDC (Continuous Damping Control), v preklade plynulé riadenie tlmenia, vývojom sa zaoberá najmä firma ZF Sachs. Ekvivalenty sú DCC (Driving Chassis Control) od spoločnosti VW, alebo systém Flexride od spoločnosti Opel. Ďalším príkladom je Audi Magnetic Ride, ktorý nepoužíva servoventil, ale používa magnetoreologické tlmiče<sup>4</sup> [2] [9]



Obr. 2.14 Schéma systému CDC: 1 – CDC tlmič, 2 – senzor zrýchlenia karosérie, 3 – senzor zrýchlenia kolesa, 4 – CDC ventil, 5 – elektronická riadiaca jednotka [19]

### Pomalé aktívne systémy

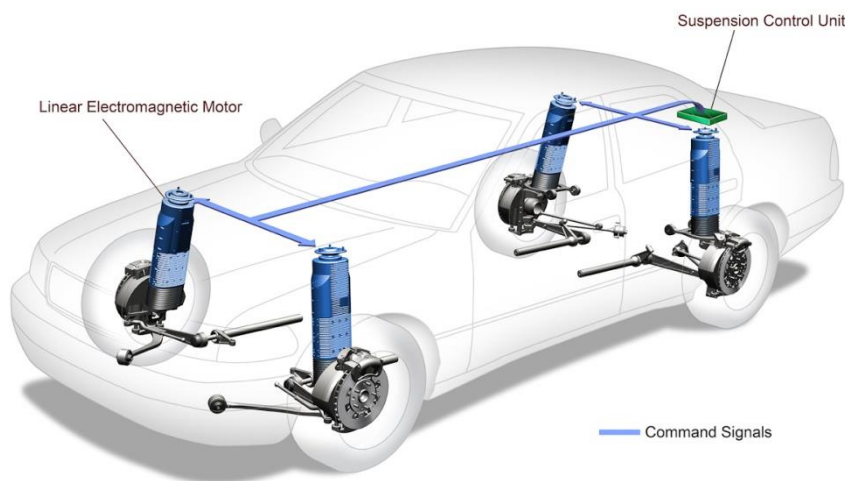
Ak sa jedná o aktívne systémy, dochádza k regulovaniu charakteristík u pružiny a aj u tlmiča. U pomalej varianty sa pohybujeme v pracovnej oblasti do 5Hz, čo zahrňuje len kmitanie nadstavby. Riadiaca jednotka s pomocou senzorov sa snaží udržať auto v jednej rovine nezávisle na zaťažení vozidla, udržuje sa rovnaká tlmiaca charakteristika. Na funkčnosť je nutné použitie servomotorov, čerpadiel a kompresorov riadených prostredníctvom riadiacej jednotky. Najznámejší a zároveň veľmi jednoduchý príklad je hydropneumatické odpruženie od firmy Citroën (obr. 2.11). [2] [9]

<sup>4</sup> Magnetoreologické tlmiče – jednoplášťové tlmiče naplnené kvapalinou, ktorá je schopná vplyvom magnetického poľa meniť viskozitu, umožňuje to veľmi rýchlo ovplyvňovať charakteristiku tlmičov



### Rýchle aktívne systémy

Pracovná oblasť sa posúva k hranici 25Hz, čo sprostredkuje možnosť veľmi rýchlej zmeny charakteristík. V praxi dochádza k veľmi rýchlemu eliminovaniu náklonov karosérie v zákrutách, pri zrýchlení a spomaľovaní. Jazda je veľmi plynulá a blíži sa regulácii Skyhook<sup>5</sup>. Jedná sa o veľmi rozšírený prvok aktívnej bezpečnosti ponúkaný najmä u prémiových modelov, vzhľadom na jeho vyššiu cenu a vyššiu energetickú náročnosť. Systémov na trhu je viacero, napríklad Hydractive III od spoločnosti Citroën, systémy Airmatic a Active body control od spoločnosti Mercedes-Benz, Dynamic Drive Control od spoločnosti BMW, atď. Veľmi zaujímavý a perspektívny systém je MRC-Bose, ktorý nepoužíva hydrauliku, ale lineárne elektromotory. [2] [9]



Obr. 2.15 Schéma systému Magnetic Ride Control – Bose [20]

## 2.2 MECHANIZMY ODPRUŽENIA MEDZI VODIČOM A NADSTAVBOU

Pri činnosti úžitkových vozidiel vzniká potreba pridať ďalšie členy odpruženia medzi nadstavbu a vodiča. Platí to najmä u nákladných vozidiel s vysokou nosnosťou a u traktorov, ktoré často nemajú odpruženú ani jednu nápravu. V prvom prípade musí byť odpruženie náprav prispôbené váhe nákladu, do kabíny sa inak prenáša nežiaduce kmitanie. V druhom prípade masívnosť podvozku stroja nedovoľuje v súčasnej dobe inštaláciu odpruženia zadnej nápravy, čo tiež negatívne ovplyvňuje jazdný komfort. Pre elimináciu kmitania vzniknutého pri jazde sa používajú dva systémy:

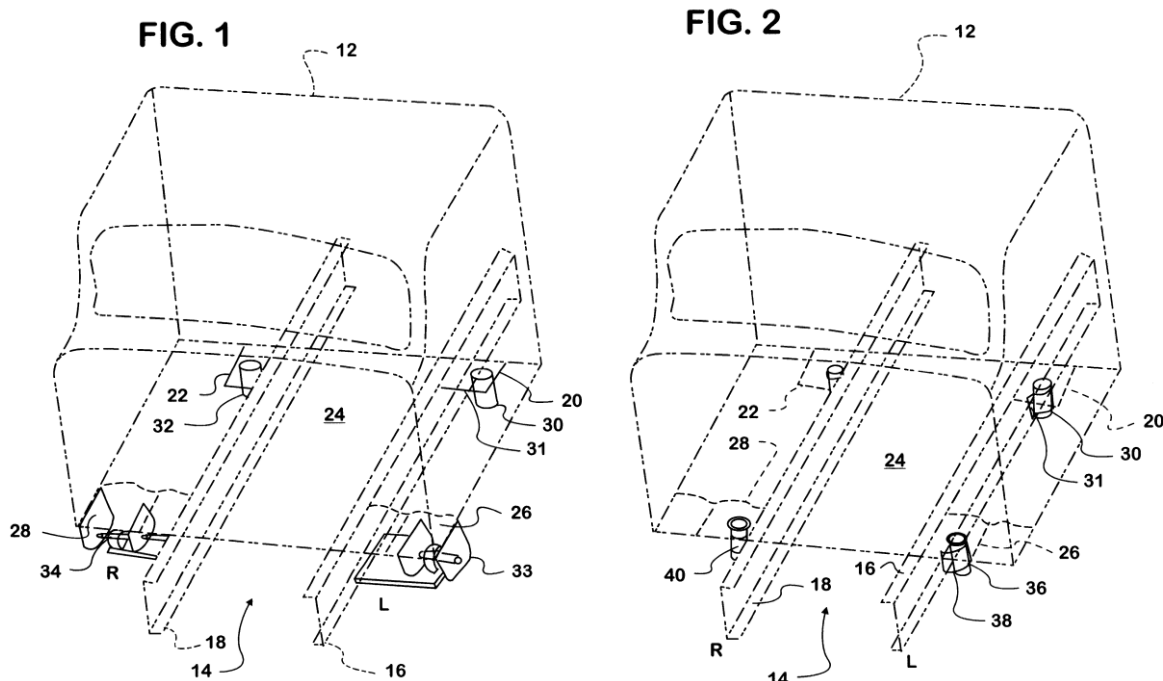
- Odpruženie kabíny
- Odpruženie sedadla

<sup>5</sup> Skyhook – v preklade nebeský hák, teoreticky ideálne odpruženie kedy sa automobil udržuje v konštantnej úrovni ako keby šiel po „nebeských koľajniciach“.

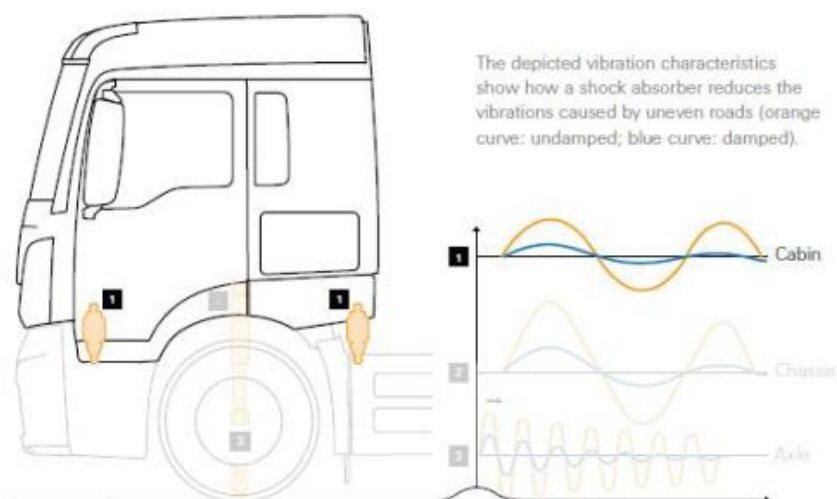


### 2.2.1 ODPRUŽENIE KABÍNY

Patrí medzi bežne používané vybavenie nákladných vozidiel určených pre dlhé trasy a traktorov hlavne vyšších výkonnostných rád. Používa sa v kombinácii s odpružením sedáku. Cieľom je pohltiť rázy, ktoré prenikli od podvozku. Najčastejšie sa v praxi používa štvorbodové odpruženie alebo dvojbodové odpruženie (obr. 2.16). [22] [23]



Obr. 2.16 Schematické zobrazenie dvojbodového odpruženia kabíny vľavo a štvorbodového v pravo [21]



Obr. 2.17 Účinok odpruženia kabíny na prenos vibrácií: modrá krivka – kabína, žltá krivka – podvozok [22]

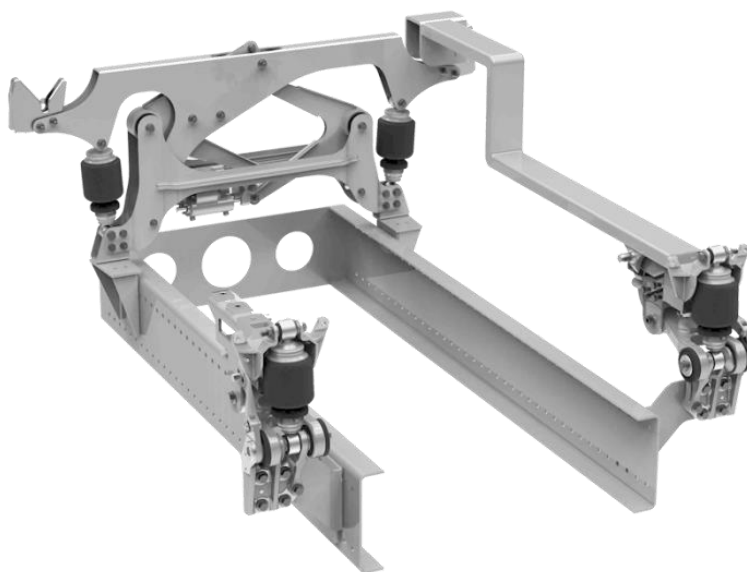


## DVOJBODOVÉ ODPRUŽENIE

U dvojbodového odpruženia je kabína uchytená vpredu na dvoch gumených klboch a vzadu na dvoch pružinách s tlmičom alebo dvoch vzduchových vakoch. Tento typ je jednoduchší a lacnejší, v prípade osadenia vinutých pružín aj ľahší na údržbu. Z hľadiska jazdného komfortu predstavuje zníženie kmitania v zvislom smere avšak nie dokonalé, preto sa častejšie vyskytuje u nákladných vozidiel s nižšou nosnosťou ako napríklad valník, od ktorých sa očakáva, že nebudú slúžiť na medzinárodnú prepravu.

## ŠTVORBODOVÉ ODPRUŽENIE

Štvorbodový systém má kabínu uchytenú buď na štyroch vinutých pružinách s tlmičmi alebo štyroch pneumatických pružinách. U traktorov je možnosť úchyty aj na štyroch pryžových púzdrach (silentblokoch). To umožní lacnú údržbu, malé zástavbové rozmery a konštrukčnú jednoduchosť (obr. 2.16 Fig.2). Uchytenie kabíny na štyroch miestach vykazuje viacero výhod. Jednou z nich je lepší pohyb v zvislej ose, čo umožňuje adekvátnejšie reagovať na rázy od podvozku. Mnoho firiem pracuje aj na aplikácii adaptívnych a aktívnych systémov, čo dané usporiadanie ešte viac približuje k dokonalosti. Jazdný komfort sa zvyšuje. Nevýhodou je jednoznačne vyššia cena a náročnosť systému, či už z pohľadu servisovania alebo zástavbových priestorov. Pre zlepšenie tlmiacich charakteristík je možné použiť tlmiče s účinkom v závislosti na pohybe piestu (Vario damper), v prípade pneumatického pruženia aktívne rýchle systémy (Active Roll Control vyvinutý firmou ZF) (obr. 2. 18), za účelom minimalizovania náklonu kabíny pri náhlych zmenách smeru jazdy a pri prudkom brzdení/zrýchlení. Kabína má snahu zostať v konštantnej výške. Systém funguje obdobne ako vyššie popísané aktívne rýchle systémy s rozdielom použitia špeciálnej pneumatickej pružiny ZF-CALM (Cabin Air Leveling Module) s integrovanou kontrolou jazdnej výšky. Tento typ odpruženia sa najviac uplatní v medzinárodnej preprave na veľké vzdialenosti v prípade nákladných vozidiel (ťahače) a na traktoroch vyšších výkonnostných rád. [22] [23]



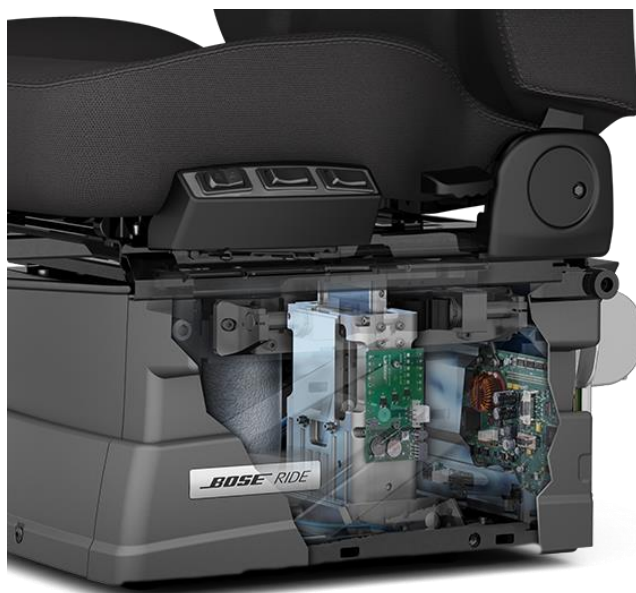
Obr. 2.18 Nosný rám systému ZF Active Roll Control[23]



### 2.2.2 ODPRUŽENIE SEDADLA

Nápad tlmiť vibrácie skrz sedadlo sa objavil skôr ako tmenie celej kabíny. V minulosti sa používalo aj u jednostopových motorových vozidiel. Dnes je jeho prítomnosť takmer samozrejmosťou u väčšiny poľnohospodárskych, stavebných, lesných a transportných strojov. Môže byť inštalovaný aj do neodpružených kabín, nezaberá veľa priestoru (vynímajúc osobné automobily) a tvorí spolu s materiálom sedáku posledný člen medzi vozidlom a človekom. Jeho konštrukcia často zároveň umožňuje nastavenie náklonu sedadla a v prípade použitia vzduchového odpruženia tiež nastavenie výšky sedadla podľa miery nafúknutia pružiny. Nevýhodou ostáva stále spojenie vodiča s podložkou kabíny, ktoré toto odpruženie už nezahŕňa. Odpruženie sedadiel môžeme deliť podľa konštrukcie a podľa typu použitej pružiny.

Konštrukčne existuje veľa variant, najznámejšia je nožnicová alebo páková konštrukcia. Čo sa týka odpruženia existuje jednoduchšia varianta s vinutými pružinami, alebo komfortnejšia a zložitejšia varianta s jednou či viacerými vzduchovými pružinami. Použitie tlmiča pre lepší komfort je vhodné, nie je však pravidlom. Znovu tu platí, že vinuté pružiny sa skôr využijú u lacnejších, jednoduchších vozidiel, ktoré slúžia na kratšie jazdy s menším počtom kilometrov, poprípade nemajú vysoký denný nábeh motohodín. Vzduchové odpruženie je, čo sa týka jazdného komfortu najlepšie, poskytuje veľkú možnosť nastavení a individualizácie v závislosti na potrebách vodiča. Nevýhodou je náročnosť systému, často má vlastný zdroj vzduchu. V súčasnosti je špičkovým riešením odpruženia sedáku systém od spoločnosti Bose (obr. 2.19). Kombinuje vzduchové pruženie s lineárnym elektromotorom. Sedadlo je plne samostatné, obsahuje senzory, ktoré detekujú nežiaduci pohyb, riadiacu jednotku ktorá vyhodnotí vhodnú reakciu a lineárny elektromotor ju v dostatočne rýchlom čase vykoná. Vzduchový vak slúži hlavne na kompenzovanie rôznych hmotností vodiča. Vďaka rýchlej a presnej odozve tohto systému do vodiča prechádza minimum vibrácií. Najväčšie negatívum sú obstarávacie náklady. Naopak štúdie poukazujú na radikálne zníženie bolesti chrbta a zníženie únavy vodiča.



Obr. 2.19 Konštrukcia sedačky Bose ride[24]



Nedeliteľnú súčasť odpruženia sedadla tvorí aj jeho konštrukcia a materiály. V minulosti boli sedadlá hojne odpružené kovovými pružinami, neskôr sa do konštrukcie začala zapájať aj polyuretánová pena. Na sedadlá vo vozidlách sa kladú vysoké nároky. Musia mať dlhú životnosť, vysoký jazdný komfort pri športovej či pokojnej jazde, poskytovať vodičovi ideálnu polohu za volantom, vážiť čo najmenej a dopĺňať interiér po dizajnovej stránke. Toto sú všetky dôvody, prečo sa prešlo na rozsiahle používanie polyuretánovej peny. Z hľadiska pohodlia jazdy došlo k zlepšeniu, pretože moderné technológie umožňujú nájsť kompromis medzi všetkými týmito parametrami. Priekopníkom inovácií v tomto smere je firma Johnson Controls, vyvinula špeciálnu polyuretánovú penu Vibratex (pohlť o 40% viac vibrácií a životnosť sa zvýši o 15%), ale taktiež použitím vinutých pružín (podobných ako sa používajú na posteľové matrace), dokáže udržať komfort pri tenšom sedadle (ComfortThin seats).



## 3 NÁVRHY NA ZLEPŠENIE

V predošlých kapitolách sú zhrnuté doterajšie poznatky v oblasti mechanizmov odpruženia. Napriek tomu technický pokrok ešte nepokryl všetky ich nedostatky mechanizmov odpruženia a k ideálu jazdného pohodlia sa ľudstvo len postupne približuje. Preto tu uvádzam jedno z možných vylepšení.

### 3.1 ADAPTÍVNA CHARAKTERISTIKA SEDÁKU

#### 3.1.1 CHARAKTERISTIKA PROBLEMATIKY

Sedadlá používané v dnešných vozidlách umožňujú širokú škálu personalizácie. V najvyšších výbavách je možné zlepšovať pohodlie podľa okolitého prostredia (vyhrievanie, odvetrávanie), je možné dofukovať bedrové časti pre zlepšenie držania tela, čo zamedzuje nežiaducim posunom v horizontálnom smere. Čo však dnešné sedadlá neumožňujú, je aktívna zmena tvrdosti sedáku. To spôsobuje, že vozidlá so športovými sedačkami, ktoré majú tvrdšiu charakteristiku, neposkytujú prijateľný komfort pre dlhšie trasy. Rovnako vozy s prehnane mäkkou charakteristikou výplne nezabezpečujú správnu polohu ľudského tela. To má za následok bolesti v oblasti chrbtice a následne zníženie jazdného komfortu.

#### 3.1.2 NÁVRH NA ODSTRÁNENIE PROBLÉMU

Cieľom je nájsť mechanizmus odpruženia, ktorý zabezpečí optimálnu tuhosť sedáku podľa trasy ktorú vodič plánuje absolvovať. Mechanickú časť systému tvoria vzduchové vaky, ktoré by boli pod hlavnými penovými časťami sedadla, regulačné ventily, vlastný kompresor a malý zásobník stlačeného vzduchu. Elektronickú časť tvorí riadiaca jednotka spolu so snímačmi zrýchlenia náprav a karosérie (tie môže zdieľať so systémom adaptívneho alebo aktívneho odpruženia pokiaľ je ním vozidlo vybavené) a výškovým snímačom. Riadiaca jednotka buď na základe zadania užívateľom (dlhá/krátka cesta) alebo v dôsledku vonkajších vplyvov (náhla zmena smeru, náhla nerovnosť) prispôsobí tlak vo vzduchových vakoch. Tie zmenšia alebo zväčšia jeho hrúbku a tým zmenia tvrdosť sedáku. Výsledkom je zlepšenie jazdného komfortu pre posádku. Nevýhodou je zvukový prejav systému, ktorý môže narušovať ticho v kabíne vozidla, preto treba systém dostatočne zvukovo utesniť. Taktiež nepriaznivý faktor je jeho váha a vyššia cena.

#### 3.1.3 MOŽNOSŤ BUDÚCEHO RIEŠENIA

V budúcnosti bude možné regulovať tvrdosť polymérov vďaka elektrickému signálu. Takýmto polymérom sa hovorí elektroaktívne polyméry. V súčasnosti s týmito materiálmi ešte predbiehajú experimenty, avšak ak bude táto technológia uvedená do úspešného konca, využitie nájde aj v aktívnej úprave tuhosti sedákov. Nutnosť využitia mechanickej časti, ktorá zabezpečuje tlak vzduchu, tým pádom odpadá. Dochádza k ušetreniu hmotnosti a zrýchleniu doby reakcie. [14]



## 4 VÝVOJOVÉ TRENDY V OBLASTI JAZDNÉHO KOMFORTU

### 4.1 MECHANIZMY ODPRUŽENIA S LINEÁRNIMI ELEKTROMOTORMI

Lineárne elektromotory ako súčasť mechanizmu odpruženia spomínam už v kapitole 2.1.2 časť Rýchle aktívne systémy. Jedná sa hlavne o systém MRC-Bose (obr. 2.15). Jazdným komfortom predbehol svoju dobu, jedná sa však o vývojový prototyp. Napriek tomu sa tento typ odpruženia javí ako méta, ktorú konštruktéri budú chcieť úspešne zložiť. Výhody tohto mechanizmu odpruženia sú jeho veľmi krátka reakčná doba (do 1ms), čo má za následok rýchlu reakciu na nerovnosť. Systém dokáže zmenšiť rázy prenikajúce do nadstavby na minimálne hodnoty. Ako problémy sa však javia jeho váha, veľké zástavbové rozmery a cena. Taktiež v prípade poruchy je odpruženie nerovností úplne vyradené z činnosti.

Inú alternatívu vyvinuli vedci z Technickej univerzity v Einhovene v spolupráci so švédskou firmou SKF. Zvolili kombináciu lineárnych elektromotorov s vinutou pružinou. Podľa doterajších skúšok sa jazdný komfort zlepši o 60%, pasívny člen ostane zachovaný z hľadiska bezpečnosti, ak by došlo k poruche systému. Pozitívom systému je okrem výrazného zlepšenia pohodlia aj jeho zameniteľnosť s bežnými pružiacimi jednotkami a nízka energetická náročnosť. Prekážkou v jeho širokom využití je hlavne cena. [10]

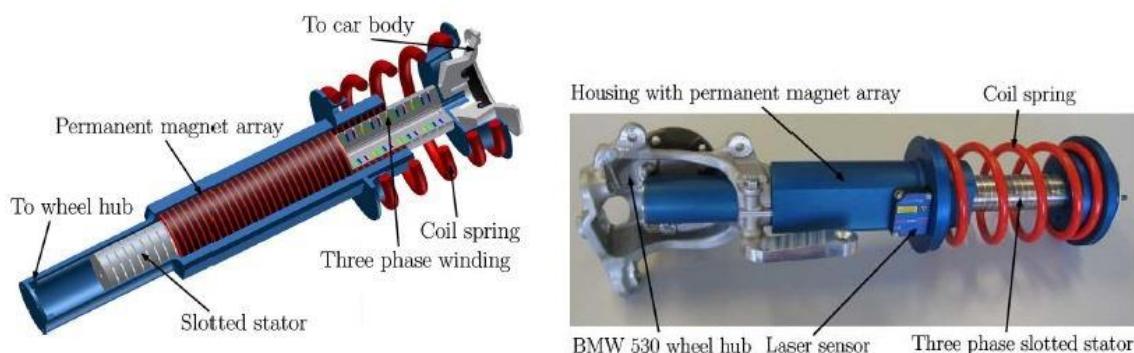


Fig. 1. Direct-drive electromagnetic active suspension system.

Obr. 4.1 Ukážka aktívnej pružiacej jednotky SKF[10]

Tento typ odpruženia otvára nové dimenzie komfortu, preto je jeho použitie možné v budúcnosti očakávať vo všetkých druhoch dopravy.

### 4.2 REGULÁCIA ODPRUŽENIA PROSTREDNÍCTVOM VONKAJŠÍCH INFORMÁCIÍ

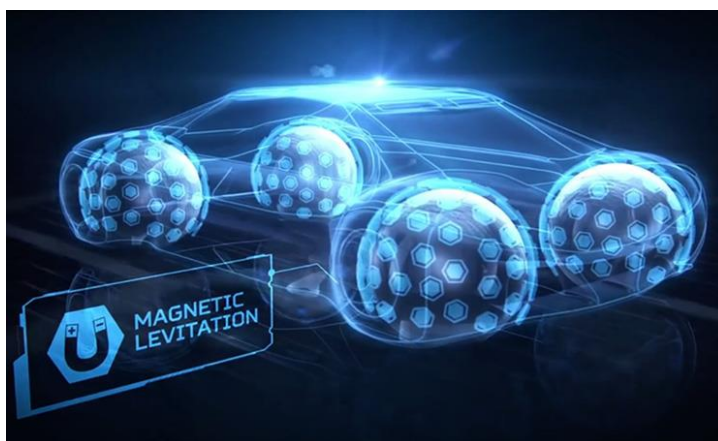
Regulácia správania mechanizmu odpruženia prostredníctvom informácií z vonkajších zdrojov, ako napríklad z internetu, je veľmi perspektívna vzia. Automobil počas cesty zbiera údaje o stave vozovky, po ktorej prechádza. Tie zasiela do dátového centra, odkiaľ sú ďalej poskytnuté automobilu, ktoré vozovkou prechádzať ešte len bude. To sa prostredníctvom aktívnych tlmičov adekvátne pripraví na očakávané udalosti, tým sa zlepši ich odozva na nerovnosti a pozitívne sa to prejaví na jazdnom pohodlí posádky. Na podobnom projekte pracuje už firma Jaguar Land Rover, ktorá má daný systém zatiaľ v testovacej fáze. V budúcnosti je možné rátať aj s automatickým odklonením trajektórie vozidla tak, aby sa nebezpečnej nerovnosti vyhlo, čím sa môže zabrániť aj poškodeniu vozidla. V súčasnosti na podobnom princípe



pracujú automatické prevodovky u nákladných vozidiel Scania, údaje však podľa profilu trate upravujú zaradený prevodový stupeň. Cieľom síce nie je zlepšiť pohodlie vodiča, ale poukazuje to na fakt, že takýto systém je v praxi použiteľný. [11]

### 4.3 ODPRUŽENIE NA PRINCÍPE MAGNETICKEJ LEVITÁCIE

V tomto prípade sa jedná o vzdialený vývojový trend, avšak aktuálny. Spoločnosť Goodyear predstavila na autosalóne v Ženeve guľatú pneumatiku Eagle-360. Poukázala tým na koncept mechanizmu odpruženia prostredníctvom javu nazývaného magnetická levitácia. Tento koncept sa v súčasnosti vyskytuje už u niektorých vlakových súprav. Princíp spočíva v sústave silných elektromagnetov, ktoré sa navzájom odpudzujú, vozidlo nie je priamo spojené s pneumatikami, vznáša sa (levituje) 1cm až 10cm nad pneumatikami. Uplatnenie toho princípu pre osobné automobily zatiaľ nie je vyriešené. Z hľadiska jazdného komfortu by však priniesol množstvo výhod. Napríklad dokonalé tlmenie nerovností alebo možnosť zmeny smeru bez natočenia karosérie. Rušivé kmitanie prenikajúce do nadstavby by bolo utlmené. [13].



Obr. 4.1 Gul'atá pneumatika Eagle-360 vľavo a možný spôsob fungovania vpravo [12]



## ZÁVER

Hlavným cieľom tejto práce bolo spracovanie prehľadu mechanizmov odpruženia u motorových vozidiel s dôrazom na jazdný komfort. Vzhľadom na zameranie na odpruženie boli brané požiadavky hlavne na tlmenia kmitania.

Zo získaných poznatkov bol uvedený návrh úpravy sedáku s cieľom vylepšiť jazdný komfort. Bol sem popísaný princíp ako by bolo možno dosiahnuť adaptívnu úpravu tuhosti penového členu, ktorý pôsobí ako jeden z prvkov odpruženia.

Na konci práce boli naznačené trendy, akými sa môže v budúcnosti uberať vývoj v rámci mechanizmov odpruženia so zameraním na jazdný komfort.



## POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] MOČKOŘ, Roman. Motorové vozidlá II: podvozkové orgány. 3. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2006. Edícia skrípt. ISBN 80-227-2363-0.
- [2] VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- [3] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. *Automobily (1) Podvozky*. 4. vydání. Brno: Avid, spol. s r. o., 2012. ISBN 978-80-87143-24-7.
- [4] ČSN ISO 2631-1. Vibrace a rázy - Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím - Část 1: Všeobecné požadavky. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [5] PŘIKRYL, M. Hydrodynamické tlumiče na principu magnetické kapaliny. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 50 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. František Pochylý, CSc..
- [6] VOTRUBEC, Radek. Globální charakteristika tlumiče. Liberec: Technická Univerzita Liberec, Fakulta mechatroniky a mezioborových studií, 2005. Teze disertační práce.
- [7] MIHALKO, J. MEMS Inerciální snímače. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 78s. Vedoucí diplomovej práce bol doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.
- [8] Tuhá náprava [online]. Ing. Jan Sajdl Ph.D., 2011 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/tuha-naprava/>
- [9] KALA, P. Hydraulický tlumič v aktivním závěsu kola. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 34 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.
- [10] GYSEN, B L J, T P J VAN DER SANDE, J J H PAULIDES a E A LOMONOVA. Efficiency of a Regenerative Direct-Drive Electromagnetic Active Suspension. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2011, 60(4), 1384-1393. DOI: 10.1109/TVT.2011.2131160. ISSN 0018-9545. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5737802>
- [11] Jaguar Land Rover vyvíjí systém detekující výmoly na silnici. *Auto.cz* [online]. Ondřej Chamilla, 2015 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/jaguar-land-rover-vyvi-ji-system-detekujici-vymoly-na-silnici-87676>
- [12] Goodyear Eagle-360. *Autolexikon.net* [online]. Ing. Jan Sajdl Ph.D., 2016 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: [http://www.autolexikon.net/sk/articles/goodyear-eagle-360/](http://www.autolexicon.net/sk/articles/goodyear-eagle-360/)
- [13] Goodyear unveils Eagle-360, a visionary tire concept for future autonomous vehicles. *Goodyear EMEA NEWSroom* [online]. Goodyear, 2016 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://news.goodyear.eu/latest-news/innovation--automated-driving--autonomous-vehicles--self-driving-cars--goodyear--future-mobility--co/s/87437154-19d9-4f0d-b7dd-fc6cf1309467>



- [14] YUSE, Kaori, Daniel GUYOMAR, David AUDIGIER, Adil EDDIAI, Mounir MED-DAD a Yahia BOUGHALEB. Adaptive control of stiffness by electroactive polyurethane. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2013, **189**, 80-85. DOI: 10.1016/j.sna.2012.09.032. ISSN 09244247. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924424712006085>
- [15] Akcelerometer ADXL 335. [www.senzorika.leteckafakulta.sk](http://www.senzorika.leteckafakulta.sk) [online]. Katedra leteckej technickej prípravy (KLTP), 2009 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.senzorika.leteckafakulta.sk/?q=node/249>
- [16] Zawieszenie pneumatyczne – jak działa, jakie są jego wady i zalety. Autokult [online]. Kamil Kobeszko [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://autokult.pl/10492,zawieszenie-pneumatyczne-jak-dziala-jakie-sa-jego-wady-i-zalety>
- [17] Koni. In: *Konithailand* [online]. Koni [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.konithailand.com/bitube/>
- [18] Koni. In: *Konithailand* [online]. Koni [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.konithailand.com/monotube/>
- [19] CDC: aktivní tlumiče letos našly cestu do běžných aut!. *Auto.cz* [online]. Ondřej Lá-ník, 2004 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/cdc-aktivni-tlumice-letos-nasly-cestu-do-beznych-aut-16717>
- [20] Bose's amazing active suspension uses speaker technology. *Extremetech* [online]. Bill Howard, 2011 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.extremetech.com/extreme/97177-bose-active-suspension-moves-toward-market/2>
- [21] Aufhäng-bzw. Federsystem für ein Lastkraftwagen-Führerhaus. 2004. Deutschland. DE2003608617. Uděleno 2003. Zapsáno 2004.
- [22] Cabin Dampers. ZF Motion and mobility [online]. ZF, 2015 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: [http://www.zf.com/corporate/en\\_de/products/product\\_range/commercial\\_vehicles/trucks\\_cabin\\_dampers.shtml](http://www.zf.com/corporate/en_de/products/product_range/commercial_vehicles/trucks_cabin_dampers.shtml)
- [23] Cabin Suspension + Active Roll Stabilization Rear. ZF Motion and mobility [online]. Deutschland: ZF, 2015 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: [http://www.zf.com/corporate/en\\_de/products/product\\_range/commercial\\_vehicles/trucks\\_cabin\\_suspension\\_active\\_rollstabi.shtml](http://www.zf.com/corporate/en_de/products/product_range/commercial_vehicles/trucks_cabin_suspension_active_rollstabi.shtml)
- [24] FAST POWERFUL PRECISE. Bose Ride [online]. Framingham: Bose Corporation, 2016 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.boseride.com/seat-suspension-technology>



## Zoznam použitých skratiek a symbolov

$a_w(t)$	$[\text{ms}^{-2}]$	vážená hodnota zrýchlenia ako funkcia času
$b_1$	$[\text{Nmsrad}^{-1}]$	konštanta tlmenia vplyvom pneumatiky
$b_2$	$[\text{Nmsrad}^{-1}]$	konštanta tlmenia tlmiča
BMC		British Motor Corporation
BMW		Bayerische Motoren Werke
CDC		Continuous Damping Control
DDC		Driving Chassis Control
EDC		Electronic Damper Control
$F_p$	$[\text{N}]$	osová sila pružiny
$F_z$	$[\text{N}]$	radiálna sila
$k_1$	$[\text{Nm}^{-1}]$	konštanta tuhosti pružiaceho vplyvu pneumatiky
$k_2$	$[\text{Nm}^{-1}]$	konštanta tuhosti pružiny
$M_1$	$[\text{kg}]$	hmotnosť neodpruženej hmoty
$M_2$	$[\text{kg}]$	hmotnosť odpruženej hmoty
MRC		Magnetic Ride Control
T	$[\text{s}]$	doba merania
VW		Volkswagen
$x_0$	$[\text{m}]$	súradnica budiacej dosky
$\dot{x}_0$	$[\text{ms}^{-1}]$	rýchlosť pohybu budiacej dosky
$x_1$	$[\text{m}]$	súradnica neodpruženej hmoty
$\ddot{x}_1$	$[\text{ms}^{-2}]$	zrýchlenie neodpruženej hmoty
$\dot{x}_1$	$[\text{ms}^{-1}]$	rýchlosť pohybu neodpruženej hmoty
$x_2$	$[\text{m}]$	súradnica odpruženej hmoty
$\ddot{x}_2$	$[\text{ms}^{-2}]$	zrýchlenie odpruženej hmoty
$\dot{x}_2$	$[\text{ms}^{-1}]$	rýchlosť pohybu odpruženej hmoty



## ZOZNAM OBRÁZKOV

- Obr.1.1 Štvrtinový model pasívneho systému odpruženia[5]  
Obr.1.2 Kapacitný 3-osý akcelerometer ADXL 335[15]  
Obr. 2.1 Mechanizmy odpruženia vozidla[3]  
*Obr. 2.2 Najčastejšie spôsoby zavesenia tuhej nápravy [1]*  
*Obr. 2.3 Najčastejšie spôsoby zavesenia tuhej nápravy [1]*  
Obr. 2.4 Úplná charakteristika odpruženia kolesa [1]  
Obr. 2.5 Listové pružiny  
Obr. 2.6 Vinuté pružiny  
Obr. 2.7 Torzné pružiny  
Obr. 2.8 Pryžové tlmiace jednotky  
Obr. 2.9 Vzduchové tlmiace jednotky  
Obr. 2.10 Systém AirMatic vo vozidle Mercedes-Benz S W222 [16]  
Obr. 2.11 Prierez hydropneumatickou pružinou a jej použitie v praxi (Citroën GS 1978-1984) [2]  
Obr. 2.12 Prierez pružinou Hydrolastic vľavo a prierez pružinou Hydragas vpravo [2]  
Obr. 2.13 Prierez dvojplášťovým tlmičom vľavo a prierez jednoplášťovým tlmičom vpravo [17] [18]  
Obr. 2.14 Graf vyjadrujúci konflikt medzi bezpečnosťou a jazdným pohodlím pri návrhu od-pruženia vozidla[2]  
*Obr. 2.14 Schéma systému CDC*  
Obr. 2.15 Schéma systému Magnetic Ride Control – Bose [20]  
Obr. 2.16 Schematické zobrazenie dvojbodového odpruženia kabíny vľavo a štvorbodového v pravo [21]  
Obr. 2.17 Účinok odpruženia kabíny na prenos vibrácií [22]  
Obr. 2.18 Nosný rám systému ZF Active Roll Control[23]  
Obr. 2.19 Konštrukcia sedačky Bose ride[24]  
Obr. 4.1 Ukážka aktívnej pružiacej jednotky SKF[10]  
Obr. 4.1 Gulťatá pneumatika Eagle-360 vľavo a možný spôsob fungovania vpravo [12]