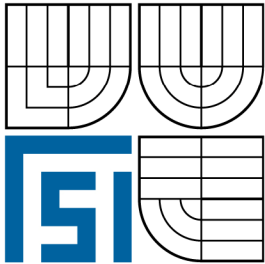


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SOUČASNÝ STAV A VÝVOJOVÉ TENDENCE V KONSTRUKCI ODPRUŽENÍ A TLUMENÍ OSOBNÍCH VOZIDEL

PRESENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF PASSENGER CARS SPRINGING AND
DAMPING SYSTEM DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB VINCENC

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ BLAŽÁK

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jakub Vincenc

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Současný stav a vývojové tendence v konstrukci odpružení a tlumení osobních vozidel

v anglickém jazyce:

Present State and Development Trends of Passenger Cars Springing and Damping System Design

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracujte přehled konstrukčních řešení systémů odpružení a tlumení osobních automobilů.

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracujte přehled konstrukčních řešení systémů odpružení a tlumení osobních automobilů.
2. Rozeberte v současnosti nejpoužívanější systémy.
3. Formulujte tendence vývoje v oblasti konstrukce systémů odpružení a tlumení osobních automobilů.

Seznam odborné literatury:

[1] VLK,F. Dynamika motorových vozidel. ISBN 80-238-5273-6, Nakladatelství VLK, Brno 2000.

[2] VLK,F. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. ISBN 80-234-6573-0, Nakladatelství VLK, Brno 2000.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Blaták

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 30.10.2008

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace

Bakalářská práce obsahuje přehled v současnosti nejpoužívanějších systémů odpružení a tlumení u osobních automobilů. Jsou zde popsány jednotlivé druhy pružin a tlumičů. Dále je zde přehled aktivních systémů odpružení používaných předními výrobci automobilů a popis jejich činnosti.

Annotation

This bachelor's thesis contains the survey of the present most used systems of the passenger cars springing and damping with the description of the particular sort of springs and dampers. The thesis also submits the survey of the active systems of damping used by the eminent producers of cars and description of their operation.

Klíčová slova

Odpružení, tlumení, aktivní odpružení, aktivní podvozek.

Key words

Springing, damping, active suspension, active chassis.

Bibliografická citace

VINCENC, J. *Současný stav a vývojové tendence v konstrukci odpružení a tlumení osobních vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Blatňák.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma Současný stav a vývojové tendence v konstrukci odpružení a tlumení osobních vozidel vypracoval samostatně a veškerá použitá literatura a prameny jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

27. května 2009

.....

Jakub Vincenc

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Blaťákovi za cenné rady a připomínky.

Obsah

Úvod	14
1. Pružiny	15
1.1. Listové pružiny	15
1.2. Vinuté pružiny	15
1.3. Zkrutné pružiny	17
2. Tlumiče	18
2.1. Dvouplášťový teleskopický tlumič.....	19
2.2. Jednoplášťový teleskopický tlumič	19
2.3. PSD tlumiče.....	20
2.4. Tlumiče-generátory	21
3. Aktivní odpružení a tlumení	22
3.1. Regulované systémy odpružení	23
3.1.1. Adaptivní systémy	23
3.1.2. Semiaktivní systémy	23
3.1.3. Aktivní systémy	24
3.2. Řídící systémy	24
3.2.1. Elektronické řízení tlumičů EDC	24
3.2.2. Plynulé řízení tlumení CDC	25
3.2.3. Systém AIRmatic (Adaptive Intelligent Ridecontrol)	26
3.2.4. Aktivní podvozkový systém Dynamic Drive	27
3.2.5. Audi magnetic ride	27
3.2.6. Systém odpružení MRC Bose	28
3.3. Vzduchové odpružení.....	30
3.4. Hydropneumatické odpružení	31
3.4.1. Systém Hydractive III.....	32
4. Přehled používaných systémů	34
Závěr	35
Použité zdroje	36
Seznam obrázků	38

Úvod

Systém odpružení a tlumení je nezbytnou součástí vozidel. Úkolem tohoto systému je zajistit dostatečnou jízdní bezpečnost, jízdní komfort a také ochranu přepravovaného nákladu před otřesy způsobenými nerovnostmi vozovky. Dalším úkolem je i snížení namáhání některých částí vozidla a tím prodloužení jejich životnosti.

Mezi jízdní bezpečností a komfortem existuje ovšem určitý konflikt. Vyšší jízdní bezpečnosti lze dosáhnout tvrdší charakteristikou podvozku, což má ale za následek snížení jízdního komfortu a naopak. Snahou výrobců je tedy dosáhnout určitého kompromisu mezi bezpečností a pohodlím.

U starších vozidel a vozidel nižší třídy je nejpoužívanější odpružení vinutými pružinami a tlumení hydraulickými jednoplášťovými nebo dvouplášťovými tlumiči – tzv. pasivní systémy. Charakteristika těchto systémů bývá většinou neměnná a daná parametry pružin a tlumičů. V současné době se však začínají významně používat tzv. aktivní systémy odpružení. Tyto systémy jsou řízeny elektronicky a umožňují plynulou změnu charakteristiky podvozku. To zajišťuje bezpečnější a pohodlnější jízdu a konflikt mezi bezpečností a pohodlím se tak více blíží k ideálnímu stavu, než jak je tomu u pasivních systémů. Ideální stav je takový, kdy kola zdolávají nerovnosti vozovky, ale vzdálenost karoserie od vozovky se nemění. Současné systémy umožňují velmi rychlou změnu nastavení podvozku, která je závislá na mnoha jízdních faktorech.

Významní světový výrobci automobilů, kterými jsou např. Mercedes – Benz, BMW, Audi, Volvo, Citroën nebo Volkswagen vyvíjejí své vlastní systémy, které pracují na různých principech. Ovšem jejich společným cílem je co nejvíce se přiblížit k ideálnímu stavu při zachování dobrých jízdních vlastností.

1. Pružiny

Pružiny jsou části strojů, které jsou schopny akumulovat kinetickou energii. Patří mezi hlavní elementy podvozků vozidel a zajišťují odpružení vozu.

Pružiny dělíme dle použitého materiálu takto:

- a) pružiny ocelové (listové, vinuté, torzní)
- b) pružiny pryžové
- c) pružiny vzduchové (pneumatické)
- d) pružiny vzduchokapalinové (hydropneumatické)
- e) pružiny pryžokapalinové (hydroelastické) ¹

1.1. Listové pružiny

Listová pružina je složena z plátů z pružinové oceli. Ty jsou na sebe naskládány a spojeny třmeny. Pro výrazné snížení hmotnosti je ideální vytvořit listovou pružinu jako nosník stálé pevnosti. Pružina je pak ve všech příčných průřezích stejně namáhána.

Listové pružiny při propružení mění svoji délku, proto je jeden konec obvykle uchycen otočně a druhý tak, aby vymežil délkové rozdíly při propružení. Oba konce pružiny jsou opatřeny závěsnými oky vytvořenými svinutím jednoho nebo dvou nejdelších listů. V těchto okách jsou pryžová válcová pouzdra sloužící pro uchycení k nástavbě nebo k výkyvnému třmenu.

Při deformaci listové pružiny vzniká mezi jednotlivými listy posuv. Tím zde vzniká i suché tření, které je v provozu vozidla díky nečistotám na dotykových plochách listů nekontrolovatelné. Snahou je toto tření snížit na přijatelnou mez, k čemuž se používají plastové vložky umístěné mezi jednotlivými listy pružiny.

1.2. Vinuté pružiny

Vinuté pružiny jsou dnes nejpoužívanějším typem pružin zejména u osobních automobilů, výjimečně u lehkých nákladních automobilů. Výhody vinutých pružin jsou malá hmotnost, žádná údržba, jednoduché uložení, žádné suché tření.

Při maximálně stlačené pružině musí být zajištěna bezpečná vůle mezi závity, aby pružina nezpůsobovala hluk a nepřenášela rázy z vozovky na vozidlo.

Oba konce pružiny jsou opatřeny tzv. závěsnými závity, které zabezpečující styk pružiny s opěrnými plochami.

¹ VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: 3. aktualizované vydání*. 1. vydání. Brno: FVLK, 2006, s. 147.

Jednou z nejdůležitějších vlastností vinuté pružiny je její tuhost, která se určí z následujícího vztahu:

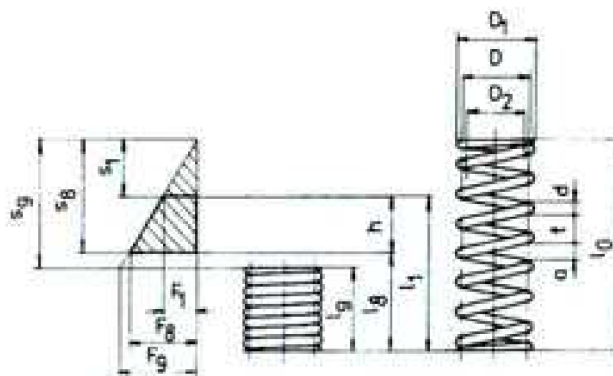
$$c = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot n \cdot D^3} \left[\frac{N}{m} \right]$$

d – průměr drátu

G – modul pružnosti ve smyku

n – počet činných závitů

D – střední průměr pružiny



Obr. 1.1 Geometrie a silový diagram vinuté pružiny [13]

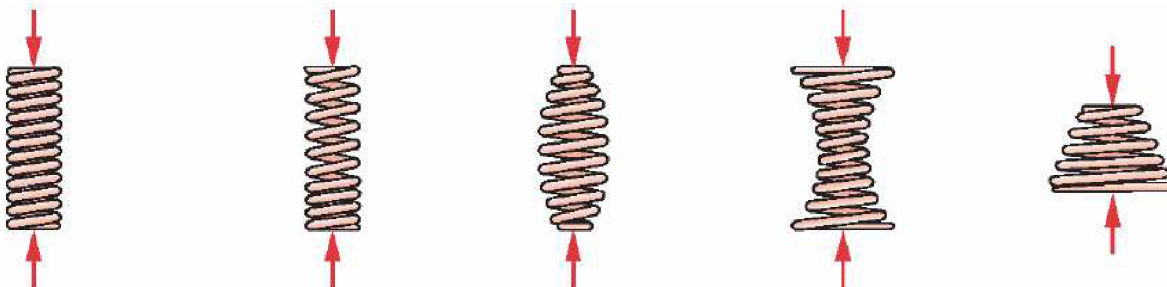
Tlačné válcové pružiny mají lineární deformační charakteristiku. Aby se dosáhlo progresivní charakteristiky vinutých pružin, používá několik způsobů jejich konstrukce:



- „proměnlivé stoupání závitů pružiny – pružina má dvě části s různým stoupáním (obr 1.2), nebo tři části, přičemž ve střední části je stoupání větší a v obou krajních částech menší.
- proměnlivý průměr drátu pružiny – drát se od střední části pružiny zmenšuje směrem k jednomu nebo oběma koncům. Tento způsob vyžaduje kuželové broušení drátu před stočením pružiny, což je ekonomicky velmi náročné. Při zvětšujícím se stlačování se pružinová vinutí s menším průměrem drátu navzájem dotýkají, čímž se pružina stává tvrdší.

Obr. 1.2 Pružina s proměnlivým stoupáním závitů [19]

- proměnlivý průměr drátu a zároveň proměnlivý průměr pružiny (kuželový nebo soudečkový) – tyto pružiny se nazývají miniblokové progresivní pružiny. Při zatížení se všechny závitů jedné poloviny spirálovitě stlačují. Tím je dosaženo výškové úspory místa. Při stlačování nevzniká žádný hluk, příp. zplošťování drátu a tyto pružiny mají malou hmotnost.“²



Obr. 1.3 Různé konstrukce vinutých pružin [21]

² VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: 3. aktualizované vydání*. 1. vydání. Brno: FVLK, 2006, s. 155.

1.3. Zkrutné pružiny

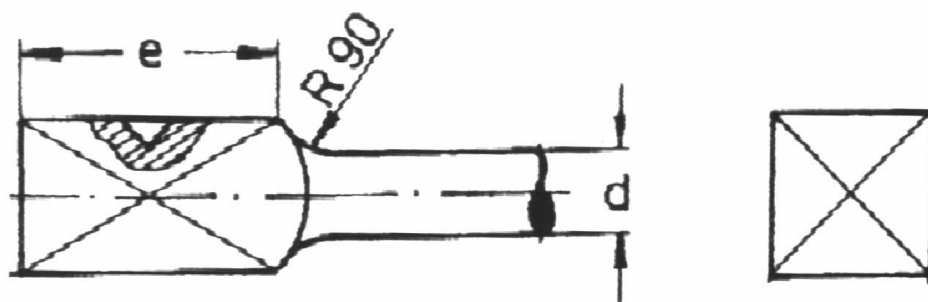
Zkrutná pružina, označována také jako zkrutná tyč nebo torzní tyč, je tyč s přímou osou obvykle kruhového průřezu. Na obou koncích jsou hlavice, které mají větší průměr než samotná tyč. Přejít mezi tyčí a hlavicí musí být kvůli zvýšení únavové pevnosti velmi plynulý a povrch z téhož důvodu bývá hladce broušen nebo kuličkován. Pro přenos kroutícího momentu jsou obě koncové hlavice opatřeny drážkováním nebo se používá hlavice čtvercového, obdélníkového nebo šestiúhelníkového průřezu.

Jeden konec torzní tyče je uložen v karoserii nebo rámu vozidla a druhý je spojen s ramenem kola. Zdvih kola je přenášen na rameno, které natáčí zkrutnou tyč v mezích její pružné deformace. Při montáži jsou torzní tyče předepjaty momentem, který odpovídá statickému zatížení stojícího vozidla.

Zkrutné pružiny zabírají malý prostor, mají malou hmotnost a prakticky žádné nároky na údržbu. Jejich nevýhodou je však to, že většinou nejsou schopny poskytnout progresivní charakteristiku odpružení.

Torzní tyče umožňují pomocí stavěcích šroubů měnit světlou výšku vozidla. Tyto šrouby mění předpětí v pružině a to vyvolá změnu výšky. U některých vozidel je toto nastavování prováděno elektromotorem, což umožňuje udržování světlé výšky vzhledem k zatížení vozidla.

Zkrutné tyče jsou také běžně používány na zadních nápravách závodních vozů F1.



Obr. 1.4 Čtyřhranná hlavice torzní tyče [2]

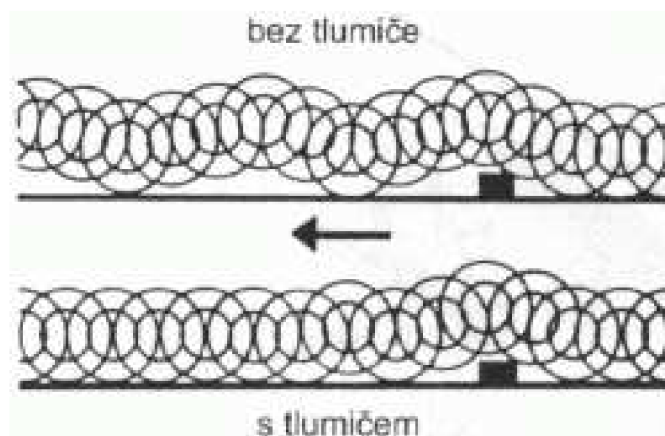
2. Tlumiče

Tlumiče odpružení eliminují nežádoucí kmitání karoserie vzniklé kmitavým pohybem pružiny. Důležitou funkcí tlumiče je snížení účinků kmitání vozidla na cestující a přepravovaný náklad a především také zajištění stálého styku kola s vozovkou a tím zajištění i bezpečnosti jízdy.

Vozidlový tlumič je schopen tlumit rázy i kmitání. Hlavním úkolem tlumiče je odebrat v pružící soustavě mechanickou energii a změnit ji v jinou formu energie. Touto energií je teplo, proto musí být také zajištěn jeho odvod. Kinetická energie tlumiče je nejčastěji pohlcována hydraulickým odporem při průtoku průtokovými ventily tlumiče.

„Špatný technický stav tlumičů odpružení může mít za následek následující skutečnosti:

- sníženou účinnost brzd projevující se v delší brzdě dráze,
- zvýšené riziko smyku na mokrému povrchu,
- vznik aquaplainingu již při nižších rychlostech,
- sníženou účinnost systémů ABS, ASR, ESP,
- sníženou ovladatelnost při zatáčení nebo bočním větru,
- zvýšené opotřebení pneumatik a dalších dílů,
- nerovnoměrnou nebo kmitající úroveň světlometů způsobující oslnění protijedoucích vozidel,
- zvýšené riziko setrvačných sil při tažení přívěsu,
- zvýšenou únavu řidiče a sníženou reakční dobu,
- zhoršené jízdní pohodlí posádky.“³



Obr. 2.1 Vliv tlumiče odpružení při přejezdu výstupku [3]

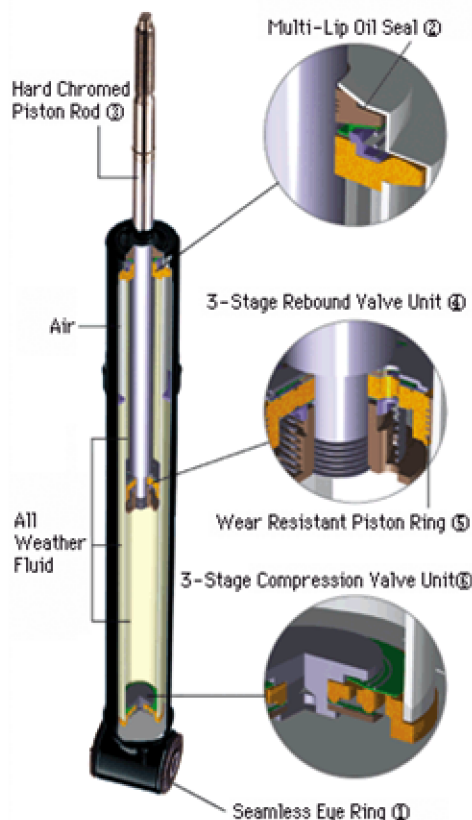
V dnešní době jsou nejpoužívanější teleskopické tlumiče, které je možno rozdělit na dvouplášťové a jednoplášťové.

³ VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. vydání. Brno: VLK, 2001, s. 290.

2.1. Dvouplášťový teleskopický tlumič

V pracovním válci, který je vyplněn kapalinou, se pohybuje píst s průtokovými ventily upevněný na konci pístnice. Pokud se píst pohybuje, je kapalina protlačována otvory průtokových ventilů z jedné oblasti pracovního prostoru do druhé. Při tomto škrceném průtoku vzniká hydraulický odpor, který zpřičiní vznik tlumící síly, která závisí na rychlosti pohybu pístu. Mezi pracovním a vnějším válcem tlumiče se nachází tzv. vyrovnávací prostor. Ten je naplněn přibližně do poloviny kapalinou. Mezi pracovním a vyrovnávacím prostorem je vyrovnávací ventil propojující tyto prostory. Ve vyrovnávacím prostoru se vyrovnává rozdíl skutečného objemu pracovního prostoru, který je při zasouvání pístnice postupně zmenšován o její objem, a rozdíl objemu tlumičové kapaliny závisící na její teplotě.

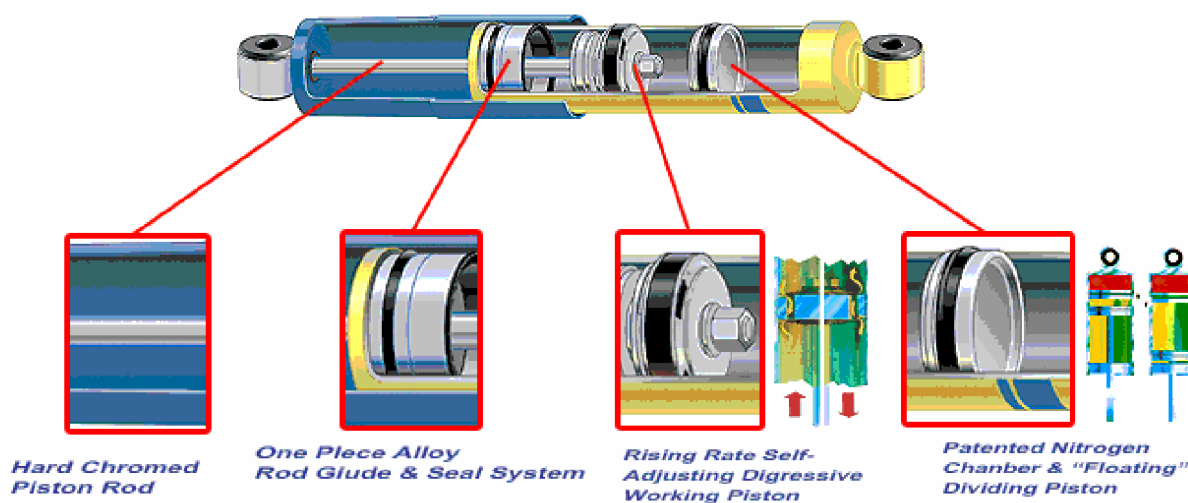
Při vysokých rychlostech může při průtoku oleje ve válci vznikat vlivem kavitace zpěňování a vytváření plynu. Optimální průchodnost oleje, který proudí ventily je tak omezena a tlumič ztrácí účinnost. Při použití stlačeného dusíku ve vyrovnávacím prostoru je možné zpěňování výrazně omezit a tím zvýšit účinnost tlumiče.



Obr. 2.2 Dvouplášťový olejový tlumič značky KAYABA [15]

2.2. Jednoplášťový teleskopický tlumič

Jednoplášťový tlumič nemá vyrovnávací prostor, ale jeho úkol plní pružná plynová náplň tvořená dusíkem o tlaku 0,3 až 0,6 MPa. Tlumičová kapalina je volně posuvným dělicím pístem oddělena od plynu. Při zatlačování pístnice protéká kapalina ventily pracovního pístu do prostoru nad tímto pístem. V prostoru nad i pod pístem je však tlak (0,3 až 0,6 MPa), a tak zde nehrozí nebezpečí tvoření bublin (kavitace). Při průtoku kapaliny sice vznikne tlakový rozdíl v obou komorách, ten ovšem neklesne pod kritickou hodnotu.



Obr. 2.3 Jednoplášťový plynokapalinový tlumič značky BILSTEIN [14]

„Jednoplášťové tlumiče mají v porovnání s dvouplášťovými tlumiči některé výhody:

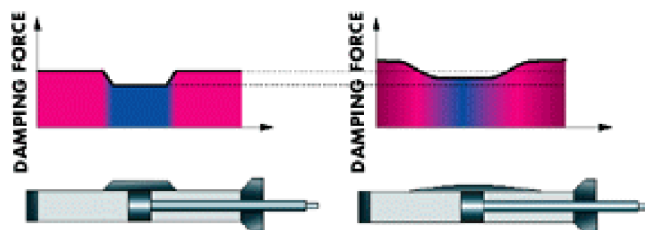
- zvyšují bezpečnost vozu a vylepšují jízdní komfort posádky,
- větší průměr pracovního pístu při stejném vnějším průměru, proto nižší pracovní tlaky v kapalině vznikající při pohybu pístu,
- lepší funkce při kmitavém pohybu s vyššími frekvencemi a menšími amplitudami, když vnitřní přetlak v kapalině zabraňuje jejímu pění,
- lepší chlazení pracovního prostoru,
- necitlivost na změnu objemu kapaliny při ochlazení tlumiče v klidovém stavu.“⁴

2.3. PSD tlumiče

Koncepci tlumení, které je závislé na poloze pístu (Position Sensitive Damping – PSD), zavedla firma Monroe. Tuto koncepci aplikovala u tlumičů označovaných názvem *SENSA-TRAC*. Během klidné jízdy s malou zátěží je zapotřebí pouze malá tlumící síla, která dostatečně zajišťuje potřebný jízdní komfort. Pokud ovšem dojde k většímu zatížení podvozku, je potřeba zvýšit odpor tlumení, aby kola neztratila přitlačnou sílu k vozovce a nedošlo k narušení stability vozidla.

Tlumiče PSD mají do vnitřní stěny tlakové trubice zhotovenou unikátní progresivní drážku. Ta se navrhuje a doladuje speciálně na konkrétní typ vozidla. Pokud píst prochází touto polohou funguje tato drážka jako doplňkový obtok oleje (bypass). Tím u tlumiče *SENSA-TRAC* vznikne další zóna tlumení.

Monroe *SENSA-TRAC* vychází z osvědčené technologie plynokapalinových tlumičů pérování použité u konstrukce Monroe *GAS-MATIC*, která je spojena s inovativní funkcí polohově citlivého tlumení PSD.



Obr. 2.4 Průběh tlumící síly tlumiče *SENSA-TRAC* (vlevo) a tlumiče *SAFE-TECH* (vpravo) [16]

Pracovní princip tlumiče *SAFE-TECH* je stejný jako u tlumiče *SENSA-TRAC*, ale díky řadě inovací se změnila jeho vlastnost tak, že lépe vyhovují novým kritériím. Především se změnil tvar obtokové drážky. Její dosavadní zakončení náhlými přechody na obou stranách se změnilo na plynulejší přechod, tudíž její hloubka se mění pozvolna. Díky tomu je přechod z komfortní oblasti do oblasti kontroly hladší. Drážka samotná se přizpůsobuje specificky každému vozu. Překonstruován byl také ventil v pístu tlumiče, u něhož nahradil svazek kotoučků z pružinové oceli jejich kombinaci s pružinou, čímž se zjednodušilo provedení ventilu a snížila také i jeho hmotnost.

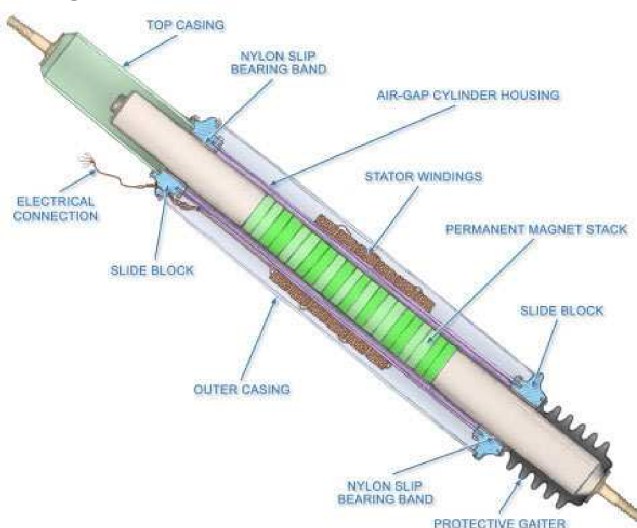
⁴ VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: 3. aktualizované vydání*. 1. vydání. Brno: FVLK, 2006, s. 199.

2.4. Tlumiče-generátory

„Automobilové tlumiče vytvářejí pohyb, který není využit. Vědci z americké univerzity Tufts mají patent na tlumič, který generuje elektrickou energii ze svého pohybu.

V běžném tlumiči se kinetická energie přeměňuje v tepelnou energii, kterou absorbuje olej bez dalšího využití. Pohyb tlumičů však půjde již brzy využít k výrobě elektrické energie. Nový patentovaný tlumič je v podstatě elektromagnetickým lineárním generátorem používajícím energii, která by šla vniveč jako odpadní teplo. Technologii vymysleli profesoři Ronald Goldner a Peter Zerigian již v devadesátých letech, nyní se testuje a brzy bude připravena k sériové výrobě.

Tlumiče-generátory budou vyrábět elektrickou energii pro baterie hybridních vozů a elektromobilů. Jejich efektivita bude odvislá od hmotnosti vozu, proto největší účinek přinesou ve větších automobilech, SUV, pickupech, užitkových vozech, nákladních autech a autobusech. Nový vynález by měl zvýšit efektivitu elektrických vozů a hybridů, které zatím rekuperují elektrickou energii z brzdění a setrvačnosti vozu.“⁵



Obr. 2.5 Tlumič vyrábějící el. energii z pohybu [18]

⁵ STACHA, Jan. *Tlumiče budou vyrábět elektrickou energii* [online]. c2006, 2.2.2009, [cit. 2009-03-29], Dostupné z: <http://www.tyden.cz/rubriky/auta/zelena-stopa/tlumice-budou-vyrabet-elektrickou-energi_103407.html>.

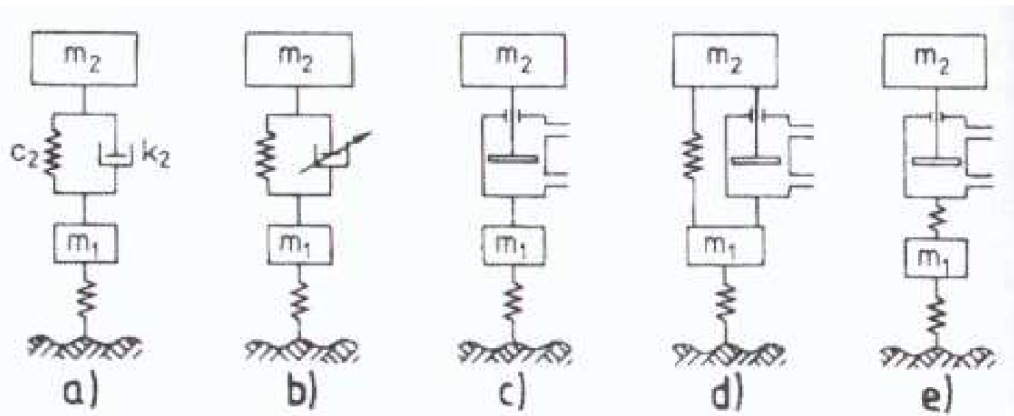
3. Aktivní odpružení a tlumení

System aktivního odpružení se přizpůsobuje zatížení vozu a zajišťuje tak ideální jízdní vlastnosti vozu. Aktivní podvozek má elektronicky řízené systémy odpružení náprav a tlumení jejich kmitů. System aktivního podvozku vyhodnocuje pomocí řídicího systému aktuální jízdní stav a upravuje charakteristiky odpružení a tlumení. Lze tak dosáhnout vyšší jízdní bezpečnosti a také vyššího jízdního komfortu. Součásti podvozku nejsou tolik namáhané, což zvyšuje jejich životnost.

Pokud je vůz vybaven kapalinovým, vzduchovým nebo vzduchokapalinovým odpružením, pak lze výrazněji měnit charakteristiky podvozku a dosáhnout tak ideálního nastavení.

Vzduchové odpružení umožňuje snadnou změnu výšky podvozku, ovšem charakteristiku odpružení nelze měnit ve větším rozsahu. System tak může regulovat pouze kmity nízkých frekvencí od menších nerovností vozovky a od dynamických účinků při změně směru jízdy.

„Nejvíce používaným řešením je jistý kompromis, kdy je použito základního mechanického odpružení s přídatnými vzduchovými pružinami a regulovatelných kapalinových tlumičů pérování. Elektronická řídicí jednotka vyhodnocuje údaje ze snímačů polohy kol vůči rámu podvozku (karosérii), rychlosti vozidla, příčného a podélného zrychlení. Na základě zjištěných údajů, které jsou počítačem porovnávány s údaji v paměti, je vydán digitalizovaný příkaz (v digitalizované formě jsou i údaje ze snímačů) k zachování či změně objemu vzduchových pružin a průtokových poměrů tlumičů. Akčními členy jsou u těchto systémů obvykle dvojcestné a trojcestné ventily s elektromagnetickým ovládním v kapalinovém i vzduchovém okruhu odpružení a tlumení. Podle volby řidiče lze zpravidla nastavit základní, tvrdou (sportovní) a měkkou (komfortní) charakteristiku odpružení a tlumení.“⁶



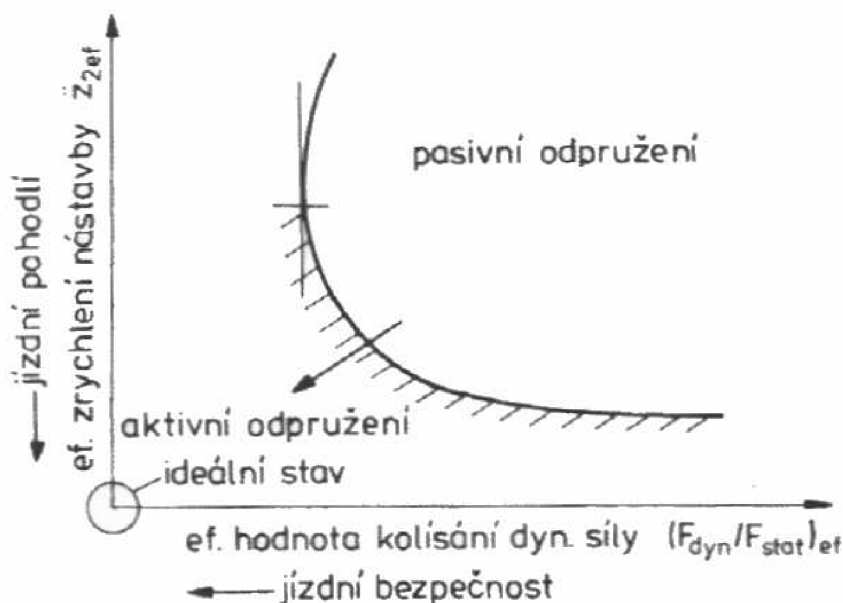
Obr. 3.1 Porovnání různých regulovaných systémů odpružení [1]

Na obr. 3.1 jsou znázorněny druhy regulovaných systémů odpružení:

- pasivní
- adaptivní systém, semiaktivní
- rychlý aktivní systém
- rychlý aktivní systém s přídatnou pružinou
- pomalý aktivní systém

⁶ Auto.cz: Aktivní podvozek [online]. c1997, [cit. 2009-04-05]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/main.php?akce=pojmem&site=slovník&id=6>>.

Měkký podvozek zajišťuje vysoký jízdní komfort a ochranu přepravovaného nákladu na úkor jízdní bezpečnosti. Proto je zapotřebí dosáhnout určitého kompromisu mezi jízdním pohodlím a bezpečností. To znázorňuje graf na obr 5.2.



Obr. 3.2 Cílový konflikt mezi jízdní bezpečností a jízdním pohodlím [1]

3.1. Regulované systémy odpružení

3.1.1. Adaptivní systémy

Adaptivní systémy umožňují seřizování tlumičů nebo pružících systému podle jízdních potřeb. Seřizování se uskutečňuje automaticky nebo manuálně řidičem.

U tlumičů se mění jejich charakteristika tlumení. Při ručním nastavení si může řidič volit mezi silným tlumením, čímž zvýší jízdní bezpečnost a sníží jízdní pohodlí, nebo slabým tlumením, což má opačný následek. Pokud nastavení probíhá automaticky, pak se při vyšších rychlostech tlumiče nastavují na silnější charakteristiku a při nižších rychlostech opět na slabší. K automatickému seřizování se mohou vyhodnocovat i jiné veličiny než rychlost, např. kolísání zatížení kola.

Seřizováním pružících systémů se nastavuje charakteristika odpružení, a to buď na „měkkou“ nebo „tvrdou“. Také je možné zkombinovat nastavitelné tlumiče a pružící systémy. Ovšem u adaptivních systémů je nižší frekvence přepínání charakteristik, než frekvence kmitání. Adaptivní systémy bývají často označovány jako pomalé.

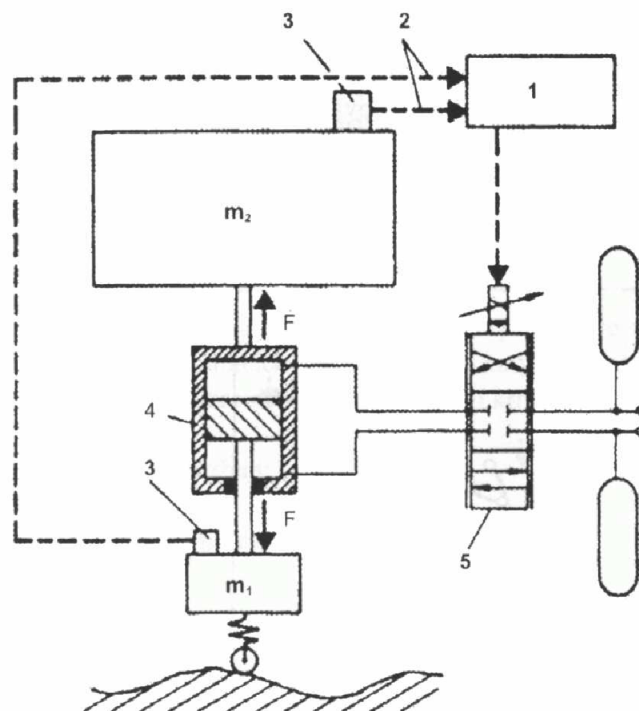
3.1.2. Semiaktivní systémy

Tyto systémy řídí především charakteristiku tlumiče. Semiaktivní systémy se od adaptivních liší tím, že nepracují s omezeným počtem charakteristik, ale v podstatě s nekonečným množstvím charakteristik. Tyto charakteristiky se velmi rychle mění a přizpůsobují jízdním požadavkům. Doba změny bývá okolo 10ms a tyto systémy se označují jako rychlé.

3.1.3. Aktivní systémy

Aktivní systémy pracují ve čtyřech kvadrantech tlumící charakteristiky, na rozdíl od adaptivních nebo semiaktivních, které pracují pouze v prvním a třetím kvadrantu. Pomalé aktivní systémy pokrývají pouze frekvenční oblast těsně nad vlastní frekvencí nástavby. Jejich pracovní oblast je 0 až 5 Hz.

U rychlých aktivních systémů pracovní oblast dosahuje až 25 Hz. Tyto systémy jsou díky svému provedení dostatečně rychlé, aby pokryly vlastní frekvenci nápravy. K těmto systémům bývají také dodávány přídatné pružiny k podepření statického zatížení.



Obr. 3.3 Schéma aktivního odpružení [1]

1 - řídicí jednotka, 2 - měřené signály, 3 - snímače, 4 - hydraulický válec, 5 - servoventil

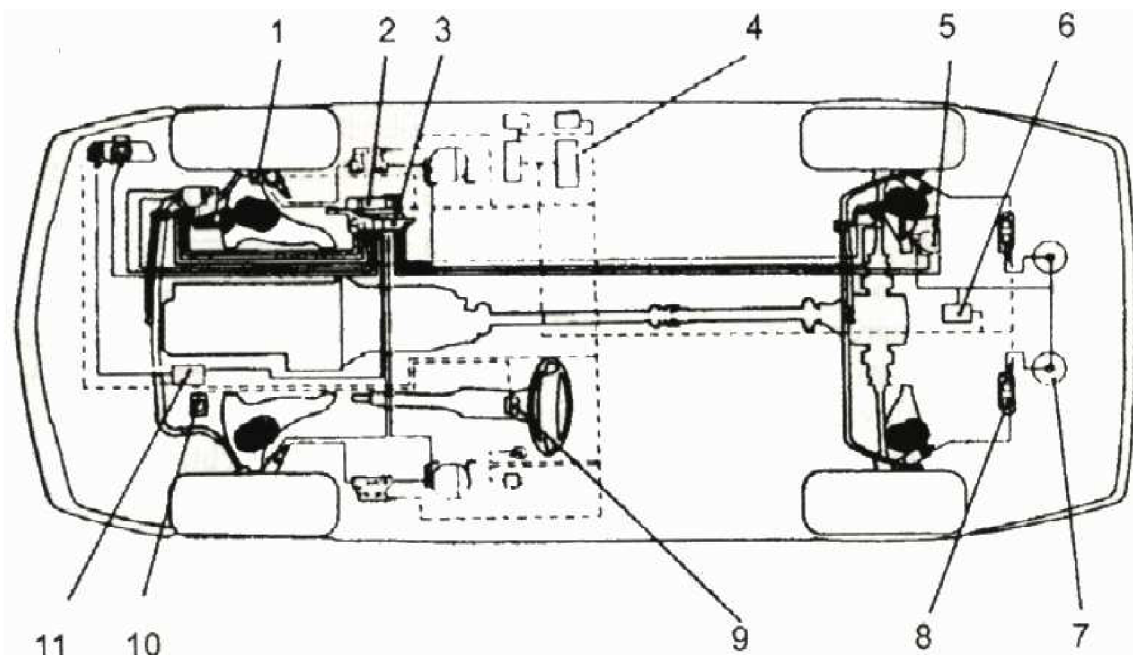
3.2. Řídicí systémy

3.2.1. Elektronické řízení tlumičů EDC

Systém EDC (Electronic Damping Control) dokáže velmi rychle měnit nastavení tvrdosti tlumičů. Nastavení se provádí podle jízdních podmínek, zatížení vozidla a dalších faktorů, které ovlivňují jízdní stav. Řidič má také možnost si tlačítkem zvolit sportovnější, tedy tvrdší nastavení tlumičů.

Vyhodnocování dynamických účinků při zatáčení bývá prováděno např. z úhlu natočení volantu a z aktuální rychlosti vozidla. Tyto údaje vyhodnotí řídicí jednotka a zajistí krátkodobou změnu tlumící charakteristiky, a tím zvýší jízdní bezpečnost. Pro vyhodnocení účinků při brzdění je v brzdovém systému umístěn tlakový spínač, který po překročení určité hodnoty tlaku vyšle signál do řídicí jednotky. Zvýšení bezpečnosti je zajištěno nastavením tvrdé tlumící charakteristiky.

Podélné houpání vozidla vznikající při akceleraci se eliminuje pomocí potenciometru, který je umístěn na škrtkové klapce. Změna tlumící charakteristiky je provedena po překročení určité hodnoty úhlové rychlosti podélného kmitání.



Obr. 3.4 Elektronická regulace tlumičů odpružení (Bosch) [2]

1 – snímač zrychlení kola; 2 – ventilový blok; 3 – rozdělovač; 4 – elektronická řídicí jednotka; 5 – regulátor světlé výšky; 6 – snímač stavu zatížení; 7 – pružinový zásobník; 8 – tlumící ventil; 9 – snímač polohy řízení; 10 – snímač zrychlení karoserie; 11 - čerpadlo

3.2.2. Plynulé řízení tlumení CDC

CDC (Continuous Damping Control) je systém řízení tlumení, který spojitě mění tlumící charakteristiku tlumiče na základě jízdních podmínek.

„Tento systém tvoří:

- nastavitelné tlumiče (mají elektronicky ovládané ventily, které umožňují, aby odtok kapaliny (tlak) mohl být odlišný, jak při stlačování, tak i při rozpínání tlumiče),
- senzory (měří rychlost jízdy, zrychlení, úhel nastavení kol, tlak v brzdovém systému, zatížení vozidla),
- řídicí jednotka (ze signálů přicházejících ze senzorů odvozuje stav vozovky a stav dopravní situace a na základě těchto odvození přestaví ventil tlumiče).“⁷

Vozy Opel používají elektronicky regulované tlumení DSA (Dynamic Safety). Tento systém pracuje tak, že do tlumičů jsou integrovány akční elektromotory, které posouvají otočný ventil ve vlastním pístovém ventilu a tím mění průtok kapaliny ventilem.

⁷ VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: 3. aktualizované vydání*. 1. vydání. Brno: FVLK, 2006, s. 214.

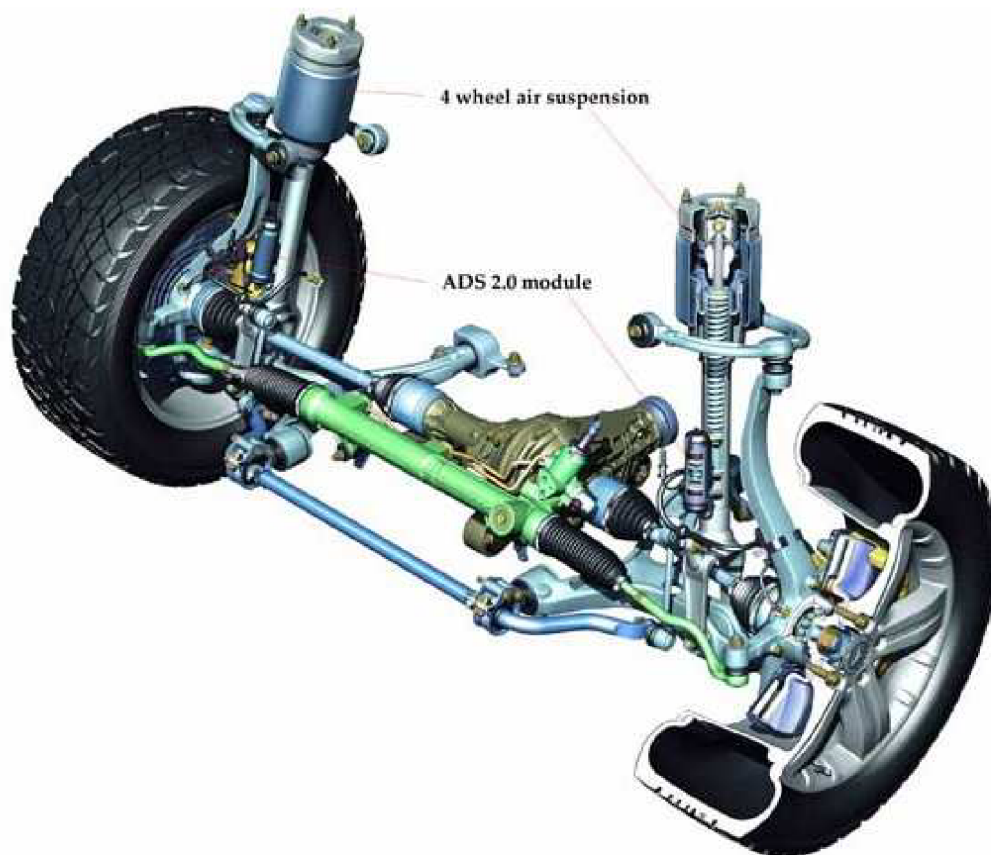
Pružiny s ovlivnitelnou tuhostí přinášejí další možnost ovlivnění komfortu jízdy. Ovšem krátkodobé změny pružící charakteristiky nemají příliš vliv na změnu jízdního komfortu. Pro aktivní podvozky je vhodné použít pružící jednotky s měkkou charakteristikou. To umožňuje současně regulaci výšky polohy vozidla. Výška vozidla může být nastavována automaticky podle rychlosti a jízdní situace nebo ručně řidičem, podle potřeby.

Prvním vozidlem s aktivním odpružením byl v roce 1999 Mercedes – Benz CL se systémem ABC (Active Body Control). V tomto systému je kompaktní pružící vzpěra s integrovaným pružícím a tlumícím systémem a hydraulickým regulovatelným ovládacím válcem.

3.2.3. Systém AIRmatic (Adaptive Intelligent Ridecontrol)

V současné době se u vozů Mercedes – Benz používá systém AIRmatic, který je kombinací vzduchového odpružení a adaptivního tlumení. Elementy odpružení jsou propojeny pneumatickými vedeními a datovou sběrnici CAN (Controller Area Network). Tento systém pracuje jako otevřený systém, což znamená, že stlačený vzduch dodává kompresor a jednou použitý vzduch odchází pryč ze systému. Hmotnost vozidla je nesena stlačeným vzduchem, jehož přivedením nebo odpuštěním je možné regulovat výšku podvozku. Přívod vzduchu je ovládán magnetickými ventily zvlášť pro každou pružící jednotku.

Systém AIRmatic při jízdě vyrovnává náklon vozu a v automatickém režimu nastavení při překročení rychlosti 140 km/h sníží světlou výšku o 15 mm. Při poklesu rychlosti na 70 km/h se opět nastaví původní výška. Modely GL nabízejí i ruční nastavení světlé výšky, která může dosáhnout až 307 mm, což vozu umožňuje se brodit vodou až do hloubky 600 mm.



Obr. 3.5 Ukázka přední nápravy automobilu Mercedes-Benz GL-Class vybavené adaptivním tlumením [9]

3.2.4. Aktivní podvozkový systém Dynamic Drive

Tento systém používaný u vozů BMW zajišťuje vysokou příčnou stabilitu vozidla při projíždění zatáčkou. Stabilizaci zajišťují aktivní stabilizátory přední i zadní nápravy, kterým se říká aktuátory. Ty jsou hydraulicky řízeny elektronickými tlakovými regulačními ventily na nápravách. Aktuátory pak podle potřeby poskytují stabilizační moment, který omezuje naklápění karoserie na minimum.



Obr. 3.6 Systém Dynamic Drive s aktivními stabilizátory [10]

3.2.5. Audi magnetic ride

Novým způsobem změny tlumicí charakteristiky u vozů Audi je použití systému Audi magnetic ride. Základním prvkem tohoto systému jsou malé magnetické částice rozptýlené v oleji tlumičů. Přivedením elektrického napětí do tlumiče vznikne magnetické pole, což způsobí uspořádání magnetických částí, které v průtokovém ventilu začnou klást větší odpor průtoku kapaliny, čímž se změní tlumicí charakteristika. Změna charakteristiky trvá několik milisekund, což zajistí velmi rychlé přizpůsobení jízdním podmínkám a tím zvýšení jízdni bezpečnosti a komfortu.

„V novém Audi A8 se podařilo spojit nejvyšší nároky na jízdni dynamiku spolu s vysokým komfortem obvyklým pro skutečnou luxusní limuzínu. Adaptivní pneumatiké pérování je spojením elektronicky ovládaného vzduchového odpružení všech kol a elektronicky řízených plynule měnitelných tlumičů. Díky tomu se podvozek dokáže samočinně přizpůsobit aktuálním jízdni podmínkám. Řidič má navíc k dispozici čtyři manuálně nastavitelné provozní režimy. Každý z těchto režimů je speciální kombinací odlišné strategie změny světlé výšky a charakteristiky tlumení, v jejichž funkci hraje prim stabilita vozu a minimální brzdni dráha.“⁸

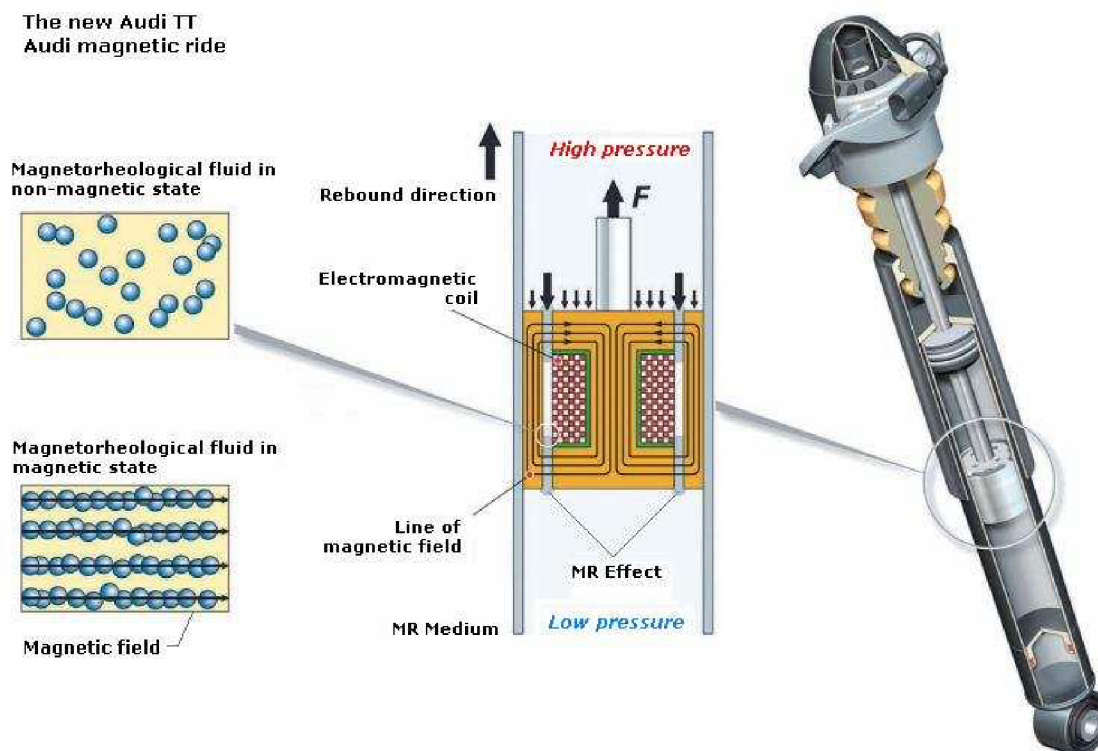
V automatickém režimu je nastavena především měkčí charakteristika tlumičů. Do rychlosti 120 km/h je nastavena světlá výška vozu přibližně 120 mm. Pokud se vůz pohybuje déle než 30 s rychlostí vyšší než 120 km/h, dojde ke snížení světlé výšky o 25 mm. Při snížení rychlosti pod 70 km/h se světlá výška vrací zpátky na normální úroveň.

⁸ Audi: Adaptivní pneumatiké pérování. [online]. [cit. 2009-04-19]. Dostupné z: < <http://www.audi.cz/modely/a8/a8/elektronika/adaptivni-pneumaticke-perovani>>.

Komfortní režim nastaví měkkou tlumící charakteristiku a zajistí pohodlnou jízdu. Světla výška je v tomto režimu nastavena na 120 mm a tato hodnota se s rychlostí nemění. Dynamický režim zajistí naopak tvrdé nastavení tlumičů. Světla výška se pohybuje okolo 100 mm a po překročení rychlosti 120 km/h se sníží o 5 mm.

Čtvrtým režimem je zvýšený režim, u kterého světla výška odpovídá přibližně 145 mm. Tento režim je vhodný zejména pro vjezd do garáže nebo při jízdě po polní cestě. Nastavení tlumičů odpovídá nastavení v automatickém režimu. Zvýšený režim je možné používat do rychlosti 80 km/h, po překročení této rychlosti je automaticky nastaven předchozí režim.

The new Audi TT
Audi magnetic ride



Obr. 3.7 Magneticky nastavitelný tlumič vozu Audi TT [12]

3.2.6. Systém odpružení MRC Bose

Systém MRC Bose (magnetic ride control) je založen na principu elektromagnetismu a již nevyužívá zákony hydrauliky. Hlavními akčními členy u těchto systémů jsou lineární elektromotory, které jsou schopny změnit charakteristiku tlumení během 1 milisekundy, čehož u hydraulických tlumičů není možné dosáhnout. Díky tomu je prakticky vyloučeno naklánění vozu při zatáčení, brzdění a akceleraci. Systém se dokáže vyrovnat s různými povrchy a neustále zachovává dobrý jízdní komfort.

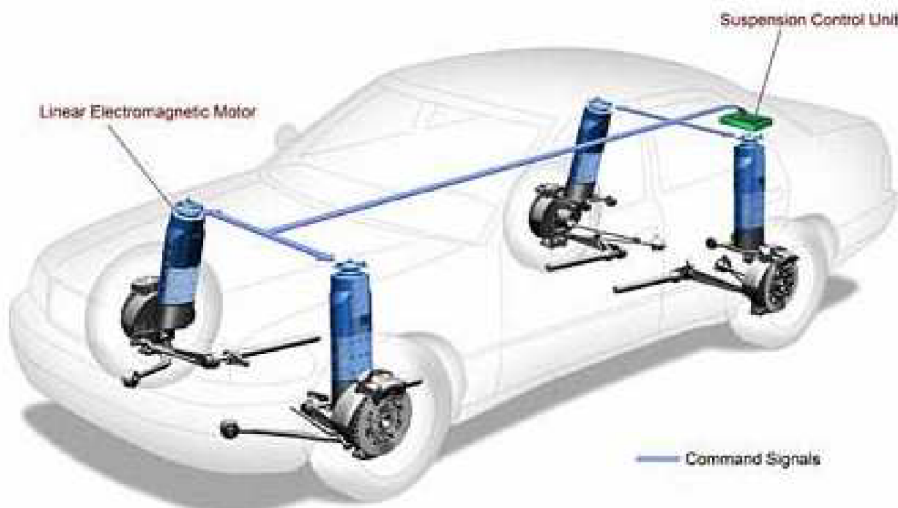
Zpracování signálů má na starosti řídicí jednotka, která prakticky v reálném čase upravuje charakteristiku tlumení jednotlivých lineárních elektromotorů.



Obr. 3.8 Náprava s lineárními elektromotory MRC Bose [8]

Podvozek je vybaven torzními pružinami, které slouží k podepření zatížení od hmotnosti vozu.

Další výhodou lineárních elektromotorů je možnost rekuperace energie. Při propružení kola je generována elektrická energie, která je ukládána do výkonových kondenzátorů. Tato energie je později využita k vyvolání tlumícího účinku. Tento systém je díky tomu jen velmi málo energeticky náročný - pro porovnání vyžaduje jen třetinový příkon, než jaký vyžaduje klimatizace. Systém pracuje s 300 V napětím, ovšem palubní síť zůstává 12 V.



Obr. 3.9 Řízení systému MRC Bose [8]



Obr. 3.10 Porovnání bočního náklonu vozu se systémem MRC Bose (vpravo) a běžného odpružení (vlevo). [8]

3.3. Vzduchové odpružení

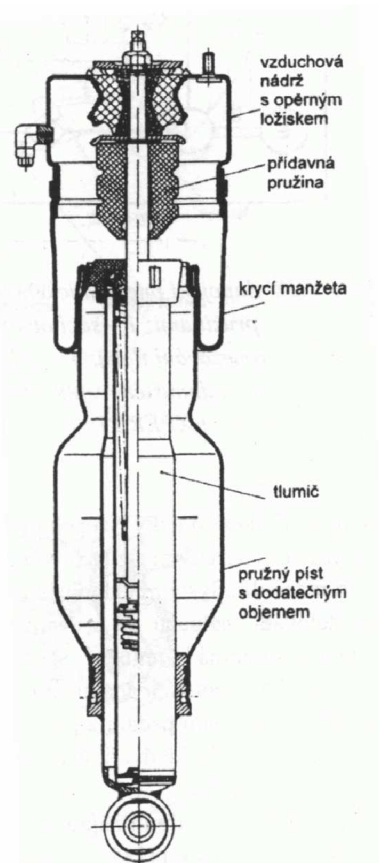
Základními částmi vzduchového odpružení jsou kompresor, zásobník stlačeného vzduchu, vzduchové pružící jednotky, výškové snímače, řídicí jednotka, vzduchové a elektrické vedení. Výškové snímače informují řídicí jednotku o aktuálním stavu a ta na základě těchto informací zajistí pomocí magnetických ventilů snížení nebo zvýšení tlaku v pružících jednotkách.

Vzduchové odpružení může být provedeno jako otevřený systém, kde vzduch je kompresorem nasáván z okolí nebo uzavřený systém, ve kterém je vzduch přečerpáván mezi zásobníkem a pružícími jednotkami.

Řídicí jednotka je aktivována po odemčení dveří vozidla a zůstává aktivní i několik minut po skončení jízdy a je připravena regulovat změny např. při nakládání a vykládání nákladu. Změna tlaku v pružících jednotkách bývá prováděna ze zásobníku stlačeného vzduchu.

Při automatické regulaci výšky vozidla se vyhodnocuje příčný a podélný náklon vozidla, který nastává při brzdění, zrychlování nebo při změně směru jízdy. Při brzdění dochází k nahuštění předních pružících jednotek a snížení tlaku v zadních. Příčný náklon vozidla se reguluje obdobně, ovšem tlak se zvyšuje v pružících jednotkách na jedné straně vozidla a na druhé snižuje. Regulaci řídí řídicí jednotka, která pomocí snímačů vyhodnocuje jízdní situaci.

Vzduchové odpružení dokáže automaticky nastavovat světlou výšku vozu podle rychlosti. To znamená, že při vyšších rychlostech dochází k poklesu světlé výšky a tím i poklesu těžiště vozu. Při brzdění jsou tak zadní kola více zatěžována a podílí se tedy více na zpomalení vozu.

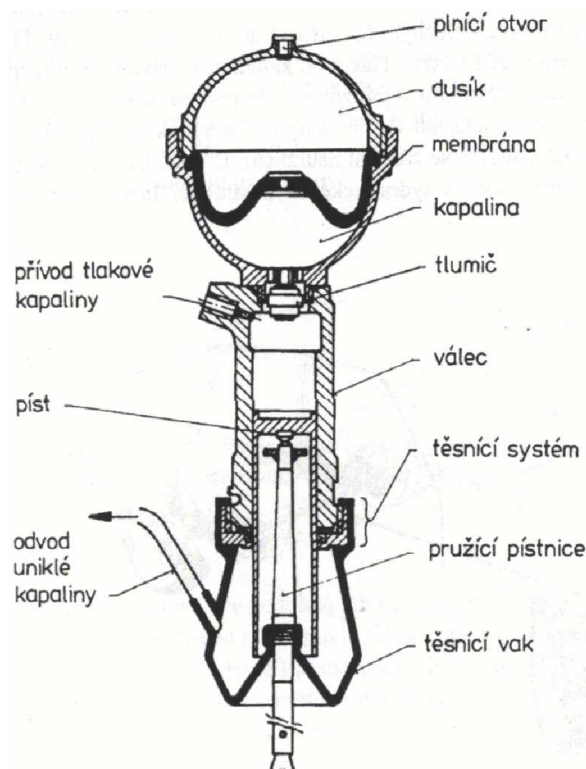


Obr. 3.11 Vzduchová pružící a tlumící jednotka. [2]

Systém Four – C (Continuously Controlled Chassis Concept), který je používán ve vozech Volvo, umožňuje plynulé nastavování tuhosti odpružení. Tento systém zároveň spolupracuje se systémem jízdní stability DSCT (Dynamic Stability and Traction Control). Informace ze snímačů jsou řídicí jednotkou vyhodnocovány a aktualizovány pětsetkrát za sekundu. Tuhost pružících jednotek je nastavována individuálně pro každé kolo. Při prudkém brzdění dorazí informace z brzdové soustavy do řídicí jednotky dříve, než dolehnou brzdové segmenty na kotouče. Řídicí jednotka tak dříve vypočítá míru náklonu karoserie a změnou tuhosti odpružení tomuto náklonu zamezí. Řidič si může vybrat ze tří jízdních režimů a zvolit si tak svůj preferovaný jízdní styl. Vybírat může z komfortního, sportovního a ryze sportovního režimu.

3.4. Hydropneumatické odpružení

Historie hydropneumatického odpružení sahá až do padesátých let minulého století, kdy bylo vyvinuto firmou Citroën, ovšem základní princip současných hydropneumatických pružících jednotek zůstává nezměněn. Základní částí pružící jednotky je tlaková nádoba, která se skládá ze dvou polokoulí, mezi nimiž je pružná membrána. V horní části nádoby je plyn, nejčastěji dusík, který svou stlačitelností funguje jako pružina a ve spodní části se nachází tlaková kapalina. Díky dvojčinnému ventilu, který je umístěn přímo v pružící jednotce, nevyžaduje tento systém tlumič. Tlumení je uskutečňováno průtokem tlakové kapaliny ventilem, který má na každé straně pružné kotouče s rozdílnou tuhostí. Tím je zajištěn rozdílný průtok kapaliny při stlačování a roztahování pružiny.



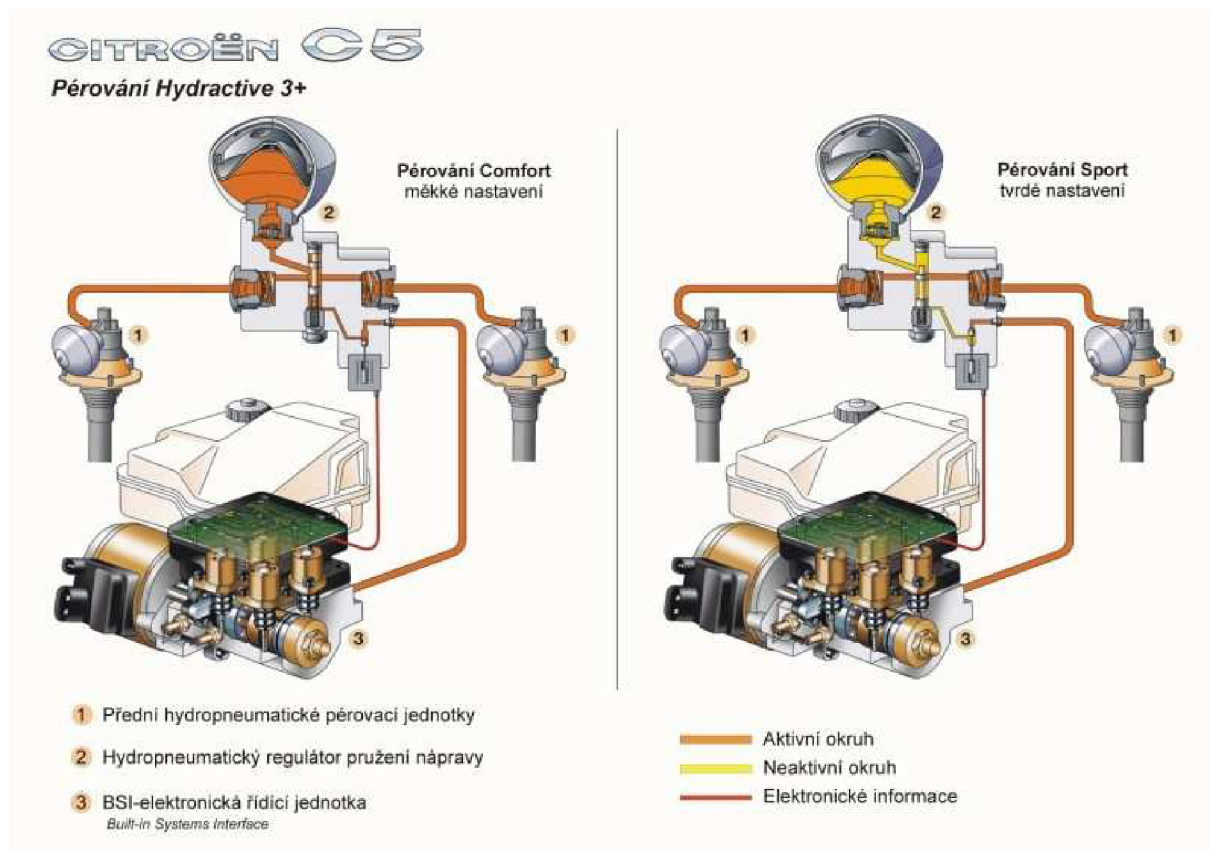
Obr. 3.12 Hydropneumatická pružící jednotka Citroën [2]

Typickou vlastností hydropneumatického odpružení je udržování konstantní světlé výšky vozidla. To se zajišťuje přivedením nebo odvedením tlakové kapaliny do pružící jednotky. Přívod je zajištěn ze zásobníku tlakové kapaliny, který je doplňován hydraulickým čerpadlem. Přiváděním tlakové kapaliny se objem plynu mění, což znamená zvýšení tuhosti odpružení. Změnou plochy pracovního pístu je možné ovlivnit charakteristiku pružiny. Toto je použito v pružících jednotkách Hydragas, kde se v tvarované skříni odvaluje pryžová membrána po vnitřní stěně skříňe a po tvarovaném pístu. Zvětšením plochy se snižuje pracovní tlak kapaliny a membrána není tolik namáhána. U pružící jednotky Hydragas ovšem není možná samočinná regulace výšky.

Pro usnadnění nakládání a vykládání nákladu nebo při zapojování návěsu je možné snížit automobil do servisní polohy. Tím se vyznačoval především vůz Citroën Xantia, u kterého byla později zavedena nová generace hydropneumatického odpružení Hydractive II. Vůz Xantia Activa je vybaven aktivním podvozkem, který je řízen pomocí elektroniky. Ta sama nastavuje charakteristiku podvozku a eliminuje boční náklon karoserie v zatáčce.

3.4.1. Systém Hydractive III

Systém Hydractive III je nová generace hydropneumatického odpružení vozů Citroën, především modelu C5. Tento systém je spojením principu elektronického zpracování informací a principu hydrauliky. Systém je schopen v reálném čase reagovat na styl jízdy a stav vozovky a automaticky udržovat světlou výšku vozidla. Velkou výhodou systému Hydractive III je jeho dlouhá životnost, která umožňuje najet až 200 000 km bez nároku na údržbu.



Obr. 3.13 Změna tuhosti odpružení systému Hydractive III+ u vozu Citroën C5 [11]

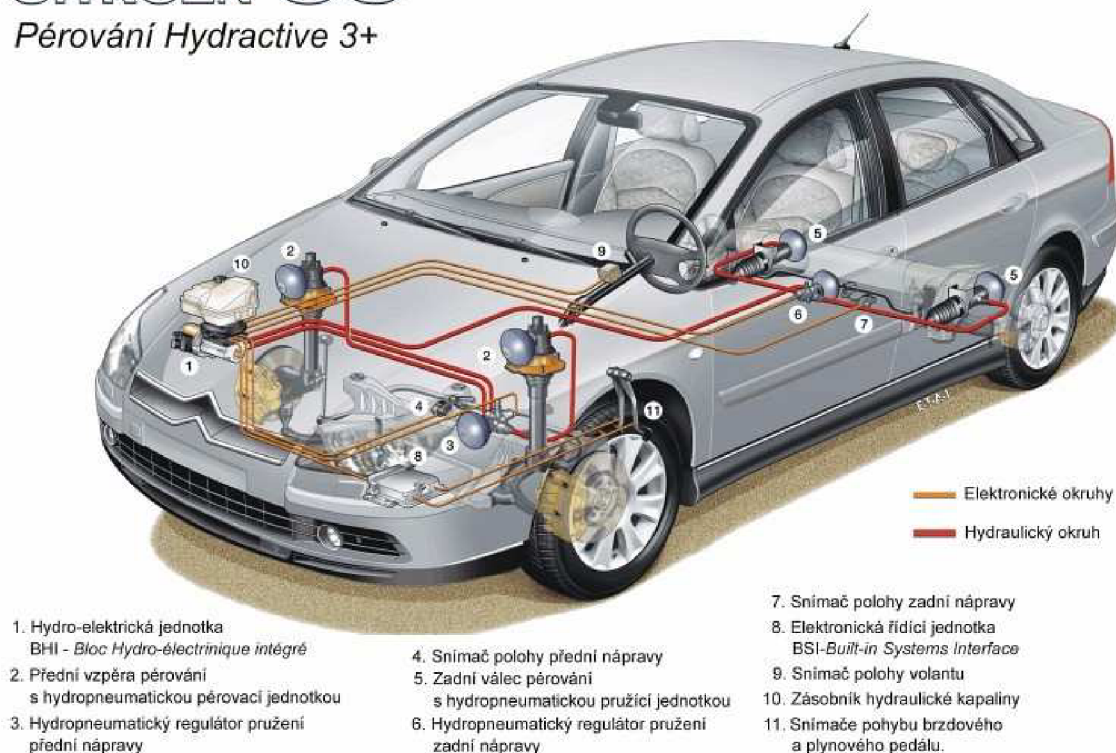
Celý systém je řízen řídicí jednotkou BHI (Bloc Hydroélectronique Intégré), která spojuje elektronické a hydraulické ovládání systému. Jednotka BHI obsahuje generátor hydraulického tlaku, zásobník tlaku, elektromagnetické ventily pro změnu tlaku v předních a zadních pružících jednotkách, tlakový regulační ventil a výkonnou elektronickou jednotku. Data, která přicházejí ze snímačů, jsou velmi rychle vyhodnocena a následně je s ohledem na ně přizpůsobeno odpružení.

Systém Hydractive III PLUS je rozšíření původního systému o přídavný snímač úhlové rychlosti volantu, snímač plynového a brzdového pedálu, snímač podélné a boční akcelerace a počítač, který vyhodnocuje stav vozovky a styl jízdy. Světla výška se automaticky mění v závislosti na rychlosti vozu a stavu vozovky. Pokud vůz jede po kvalitní vozovce rychlostí vyšší než 110 km/h, klesne přední část vozu o 15 mm a zadní o 11 mm. Těžiště vozidla se tímto sníží, což zlepší jízdní vlastnosti. Také je zmenšen odpor vzduchu a tím tedy i spotřeba paliva. Pokud se rychlost sníží pod 60 km/h nebo se zhorší kvalita vozovky, pak se těžiště vrací do původní polohy, aby byly zachovány optimální jízdní vlastnosti. U vozu C5 break je také možnost snížení zadní části, což umožňuje snadnější přístup do zavazadlového prostoru nebo jednodušší zapojení přívěsu.

Počítač během jízdy sleduje a vyhodnocuje jízdní situaci a zajišťuje okamžitou změnu tlaku v pružicích jednotkách. Náklony karoserie jsou tak omezeny a zvýšena je i jízdní bezpečnost a pohodlí. Tento systém také umožňuje řidiči zvolit si sportovnější nastavení podvozku, což zajišťuje častější přechod do dynamického režimu.

Hydraulický systém obsahuje šest sférických koulí, kde čtyři z nich přísluší každé pružicí jednotce a zbylé dvě pro každou nápravu umožňují měnit charakteristiku odpružení. Ta se mění zapojením nebo odpojením přídavné koule do hydraulického obvodu. Tato koule se nazývá hydropneumatický regulátor pružení a pokud je zařazen v obvodu, je na příslušné nápravě nastavena měkká charakteristika odpružení.

CITROËN C5
Pérování Hydractive 3+



- 1. Hydro-elektrická jednotka BHI - Bloc Hydro-électrique intégré
- 2. Přední vzpěra pérování s hydropneumatickou pérovací jednotkou
- 3. Hydropneumatický regulátor pružení přední nápravy

- 4. Snímač polohy přední nápravy
- 5. Zadní válec pérování s hydropneumatickou pružicí jednotkou
- 6. Hydropneumatický regulátor pružení zadní nápravy

- 7. Snímač polohy zadní nápravy
- 8. Elektronická řídicí jednotka BSI-Built-in Systems Interface
- 9. Snímač polohy volantu
- 10. Zásobník hydraulické kapaliny
- 11. Snímače pohybu brzdového a plynového pedálu.

Obr. 3.14 Systém aktivního odpružení Hydractive III+ u vozu Citroën C5 [11]

4. Přehled používaných systémů

<i>Výrobce – model</i>	<i>Používané systémy</i>
Audi – TT, A3, S3,	Magneto-rheologický systém tlumení Audi magnetic ride
Ferrari – Kalifornia	Magneto-rheologický systém tlumení
Cadillac – CTS, DTS, XLR	Magneto-rheologický systém tlumení
BMW – řady 5, 6	Aktivní podvozkový systém Dynamic Drive
Citroën – C5	Aktivní hydropneumatické odpružení Hydractive III
Mercedes – Benz – CL	Aktivní systém ABC (Active Body Control)
Mercedes – Benz – třídy E, R, S	Systém AIRmatic (Adaptive Intelligent Ridecontrol)
Opel – Omega, Combo, Astra Coupé	Elektronicky regulované tlumení DSA (Dynamic Safety)
Volvo – S40, S60, S80, V70,	Plynulé pneumatické nastavování tuhosti odpružení Four C (Continuously Controlled Chassis Concept)

Závěr

Ocelové vinuté pružiny jsou stále nepoužívanějším způsobem odpružení osobních automobilů. To je dáno jejich výhodami, kterými jsou zejména malá hmotnost, jednoduché uložení, prakticky žádná údržba, atd. Výhodné jsou také torzní pružiny, které se vyznačují malým zástavbovým prostorem a jsou také často používány u elektronických systému jako rezervní odpružení při selhání systému.

Tlumiče, které tlumí kmitání vyvolané pružinami, se vysoce podílí na jízdě bezpečnosti. Současně nepoužívanější jsou hydraulické jednoplášťové nebo dvouplášťové, a to díky jejich jednoduchému uložení a především dobrému poměru ceny a výkonu.

Současné aktivní systémy podvozků výrazně přispívají ke zvýšení jízdě bezpečnosti a zároveň dosažení vyššího jízdě pohodlí. Adaptivní tlumiče dokáží rychle měnit svoji charakteristiku, a tak se velmi rychle přizpůsobí jízdě podmínkám. Regulace se nejčastěji provádí přívodem a odvodem tlakové kapaliny v tlumiči nebo nastavováním průtokových ventilů. Zajímavým případem je systém Audi magnetic ride, kde průtok kapaliny ventilem tlumiče je ovlivňován částicemi v magnetickém poli.

Regulované odpružení zase umožňuje udržování stálé světlé výšky při zatížení vozidla. Eliminuje také naklánění vozu v zatáčkách nebo při rozjíždění a brzdění. Některé systémy světlou výšku také upravují podle rychlosti vozidla. Při vyšších rychlostech vozidlo poklesne, čímž se zlepší jeho aerodynamika. To má také pozitivní vliv na spotřebu paliva.

Nejčastěji se jako regulované odpružení používá vzduchové odpružení, kde změnou tlaku vzduchu v pružící jednotce se mění tuhost pružiny. Tyto systémy vyžadují navíc kompresor a ostatní součásti potřebné pro rozvod stlačeného vzduchu.

Hydropneumatické neboli plynokapalinové odpružení má již dlouholetou tradici ve vozech Citroën, kde se velmi osvědčilo. Tento systém je stále vyvíjen a zdokonalován a s velkým rozmachem elektronických systémů se také zařadil mezi aktivní systémy. V současné době je ve vozech Citroën C5 používán systém Hydractive 3+, který je zatím nejnovějším systémem tohoto typu.

Kromě aktivního odpružení a tlumení existují i aktivní stabilizátory, které omezují naklánění vozidla v zatáčce. Tento systém používá firma BMW pod názvem Dynamic Drive.

Velmi zajímavým řešením je také systém Magnetic Ride Control od firmy Bose. Ten pracuje na principu elektromagnetismu, který umožňuje v čase 1 milisekundy změnit charakteristiku podvozku. Naklánění vozu je tedy téměř vyloučeno. Řídící jednotka, která je srdcem všech aktivních systémů, se snaží udržovat konstantní zatížení kola. To znamená, že při přejezdu nerovnosti se zvedá pouze kolo a karoserie zůstává téměř v původní výšce. Tím se tento systém velmi blíží ideálnímu stavu maximální bezpečnosti a maximu komfortu.

S vývojem elektroniky a nových technologií bude aktivních systémů odpružení přibývat a do budoucna tyto systémy zcela vytlačí pasivní odpružení. Vozy tak budou mnohem bezpečnější a pohodlnější.

Použité zdroje

- [1] VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel: Díl 2*. 1. vydání. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2002, 592 s. ISBN 80-238-7282-6.
- [2] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: 3. aktualizované vydání*. 1. vydání. Brno: FVLK, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-X.
- [3] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. vydání. Brno: VLK, 2001, 576 s. ISBN 80-238-6573-0.

Internet:

- [4] *AC Boom: Technologie* [online]. c2005, [cit. 2009-05-02]. Dostupné z: <http://www.acboom.cz/citroen/html/servis_technologie.php?PHPSESSID=55d09fef5f8833c3a39abfb15aae3cef>.
- [5] *Audi: Adaptivní pneumatické pérování* [online]. [cit. 2009-04-19]. Dostupné z: <<http://www.audi.cz/modely/a8/a8/elektronika/adaptivni-pneumaticke-perovani>>.
- [6] *AudiV8.cz: Audi magnetic ride* [online]. c2006, [cit. 2009-04-19]. Dostupné z: <<http://www.audiv8.cz/slovník-pojmu.php?pojem=%22Audi%20magnetic%20ride%22>>.
- [7] *Auto.cz: Aktivní podvozek* [online]. c1997, [cit. 2009-04-05]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/main.php?akce=pojem&site=slovník&id=6>>.
- [8] *Auto.cz: Bose: aktivní podvozek nové generace* [online]. c1997, 9.9.2004, [cit. 2009-05-10]. Dostupné z: <<http://news.auto.cz/technika/bose-aktivni-podvozek-nove-generace.html>>
- [9] *Autolexicon: Airmatic* [online]. c2008, [cit. 2009-04-30]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/airmatic>>.
- [10] *BMW: Dynamic Drive* [online]. [cit. 2009-05-20]. Dostupné z: <http://www.bmw.co.za/products/automobiles/6/coupe/6series_ddrive.asp>.
- [11] *BRNOCAR: Hydroactiv 3* [online]. [cit. 2009-05-02]. Dostupné z: <<http://www.brnocar.cz/technika/hydroactive.htm>>.
- [12] *GT Pasion* [online]. c2006, [cit. 2009-05-01]. Dostupné z: <<http://gtp.okickoff.org/category/coches/>>.
- [13] *Martis – pérovna s.r.o.* [online]. [cit. 2009-03-26]. Dostupné z: <http://www.martis.cz/vyr_program/tlacne.php>.
- [14] *MJAUTO: Tlumiče Bilstein* [online]. [cit. 2009-03-27]. Dostupné z: <<http://www.mjauto.cz/bilstein2.htm>>.
- [15] *MJAUTO: Tlumiče Kayaba* [online]. [cit. 2009-03-27]. Dostupné z: <<http://www.mjauto.cz/tlumice.htm>>.
- [16] *Monroe* [online]. [cit. 2009-03-28]. Dostupné z: <<http://www.monroe.su/sensa.htm>>.
- [17] *Monroe: Technologie tlumiče* [online]. [cit. 2009-03-28]. Dostupné z: <<http://www.tlumicemonroe.cz/index.php?loc=technologie>>.

- [18] STACHA, Jan. *Tlumiče budou vyrábět elektrickou energii* [online]. c2006, 2.2.2009, [cit. 2009-03-29]. Dostupné z: <http://www.tyden.cz/rubriky/auta/zelena-stopa/tlumice-budou-vyrabet-elektrickou-energii_103407.html>.
- [19] *Tuning-in.cz: H&R pružiny* [online]. [cit. 2009-03-27]. Dostupné z: <<http://www.tuning-in.cz/sportovni-pruziny/h-r-pruziny/>>.
- [20] *Wikipedie: Náprava s torzní tyčí* [online]. poslední revize 28.4.2009 [cit. 2009-05-09]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1prava_s_torzn%C3%AD_ty%C4%8D%C3%A1D>.
- [21] E-learning VUT: 5KS přednáška 11 [online]. [cit. 2009-03-26]. Dostupné z: <<https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/79975/prednasky/prednaska11.pdf>>.

Seznam obrázků

Obr. 1.1	Geometrie a silový diagram vinuté pružiny [13]	16
Obr. 1.2	Pružina s proměnlivým stoupáním závitů [19]	16
Obr. 1.3	Různé konstrukce vinutých pružin [21]	16
Obr. 1.4	Čtyřhranná hlavice torzní tyče [2]	17
Obr. 2.1	Vliv tlumiče odpružení při přejezdu výstupku [3]	18
Obr. 2.2	Dvouplášťový olejový tlumič značky KAYABA [15]	19
Obr. 2.3	Jednoplášťový plynokapalinový tlumič značky BILSTEIN [14]	19
Obr. 2.4	Průběh tlumící síly tlumiče SENSA-TRAC (vlevo) a tlumiče SAFE-TECH (vpravo) [16]	20
Obr. 2.5	Tlumič vyrábějící el. energii z pohybu [18]	21
Obr. 3.1	Porovnání různých regulovaných systémů odpružení [1]	22
Obr. 3.2	Cílový konflikt mezi jízdní bezpečností a jízdním pohodlím [1]	23
Obr. 3.3	Schéma aktivního odpružení [1]	24
Obr. 3.4	Elektronická regulace tlumičů odpružení (Bosch) [2]	25
Obr. 3.5	Ukázka přední nápravy automobilu Mercedes-Benz GL-Class vybavené adaptivním tlumením [9]	26
Obr. 3.6	Systém Dynamic Drive s aktivními stabilizátory [10]	27
Obr. 3.7	Magneticky nastavitelný tlumič vozu Audi TT [12]	28
Obr. 3.8	Náprava s lineárními elektromotory MRC Bose [8]	29
Obr. 3.9	Řízení systému MRC Bose [8]	29
Obr. 3.10	Porovnání bočního náklonu vozu se systémem MRC Bose (vpravo) a běžného odpružení (vlevo) [8]	30
Obr. 3.11	Vzduchová pružící a tlumící jednotka. [2]	30
Obr. 3.12	Hydropneumatická pružící jednotka Citroën [2]	31
Obr. 3.13	Změna tuhosti odpružení systému Hydractive III+ u vozu Citroën C5 [11]	32
Obr. 3.14	Systém aktivního odpružení Hydractive III+ u vozu Citroën C5 [11]	33