



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

REGULOVATELNÉ TLUMIČE

ADJUSTABLE DAMPERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

KAMIL DOLEŽAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN VANČURA, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Kamil Doležal

který/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:

Regulovatelné tlumiče

v anglickém jazyce:

Adjustable dampers

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Těžištěm bakalářské práce je vypracování rešerše na téma regulovatelných tlumičů motorových vozidel.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Rozdělení tlumičů motorových vozidel
- 2) Popis činnosti konvenčních tlumičů
- 3) Rozdělení a popis funkce regulovatelných tlumičů
- 4) Výhody a nevýhody využití regulovatelných tlumičů v motorových vozidlech.

Seznam odborné literatury:

- [1] Vlk, F.: Podvozky motorových vozidel
- [2] Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel
- [3] Gillespie, T.: Fundamentals of Vehicle Dynamics

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Vančura, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 19.11.2013

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Práce předkládá informace o základních typech tlumičů, které se používají v současné době. Obsahuje popis elementárních částí a funkce pasivních, adaptivních, semiaktivních a aktivních systémů. Součástí práce je také hodnocení jejich výhod a nevýhod.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tlumič, regulovatelný tlumič, magnetoreologický tlumič

ABSTRACT

This thesis elaborates with information about basic types of dampers, which are used nowadays. There is a description of primary parts and function of passive, adaptive, semiactive and active suspension systems. A part of a work is also evaluation of their advantages and disadvantages.

KEYWORDS

Damper, adjustable damper, magneto-rheological damper



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOLEŽAL, K. *Regulovatelné tlumiče*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 35 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Vančura, Ph.D..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jan Vančura, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23. května 2014

.....

Kamil Doležal



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Vančurovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky.



OBSAH

Úvod	9
1 Pasivní systémy	11
1.1 Dvouplášťový teleskopický tlumič	11
1.2 Jednoplášťový teleskopický tlumič.....	14
1.3 Tlumiče závislé na poloze pístu (PSD).....	16
1.4 Tlumicí systém DCD	18
2 Adaptivní systémy	19
2.1 Elektronicky řízené tlumiče EDC (Electronic Damping Control).....	19
2.2 AIRmatic DC (Adaptive Intelligent Ridecontrol Dual Control).....	20
3 Semiaktivní systémy.....	22
3.1 Plynulé řízení tlumičů CDC (Continous Damping Control)	22
3.2 MR tlumiče	25
4 Aktivní systémy.....	28
4.1 ABC (Active Body Control)	29
4.2 MRC BOSE	30
Závěr.....	31
Seznam obrázků.....	35

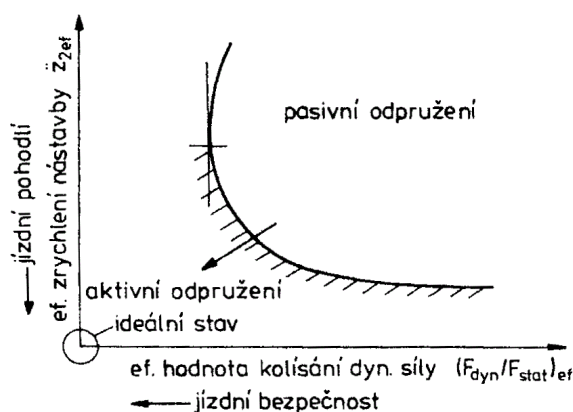


ÚVOD

Tlumiče jsou jednou ze základních částí systému odpružení vozidla. Jeho hlavní funkcí je tlumení kmitání a nárazů. Kmitavé pohyby, které vznikají především jízdou po nerovnostech, vyvolávají dynamické síly. Ty mění svislé zatížení mezi vozovkou a kolem automobilu. Pokud tyto síly způsobí, že svislé zatížení kol bude nulové, pak nebude možné přenést vodorovné (tzn.: podélné, boční), hnací a brzdné síly. To způsobí ztrátu kontroly nad vozidlem. V opačném případě se může stát, že svislé zatížení vzroste na příliš vysoké hodnoty a dojde k nadměrnému namáhání vozovky.

Vlastní frekvence nástavby a nápravy vozidla jsou rozdílné přibližně desetinásobkem. Jejich utlumení je tedy problematické. Odpružení vozidla by mělo co nejlépe splňovat tyto základní požadavky: jízdní komfort, bezpečnost, rozměrová kompaktnost a přizpůsobení výšky vozidla. Za komfortní jízdu je považován stav, kdy působí malé zrychlení na nástavbu vozidla. Vlastní kmitočty nástavby jsou malé. Tlumení je závislé na jízdním stavu a zatížení. Vysoké jízdní bezpečnosti vozidlo dosahuje, pokud dochází k minimálnímu kolísání zatížení kol, kinematika náprav není závislá na zatížení, podvozek má dostatečné tlumení a pružící dráhy. Dále je velmi důležité, aby světlometry byly v konstantní poloze. Pro co nejlepší využití prostoru uvnitř vozidla je vhodné, aby rozměry pružících a tlumících elementů byly co nejkompaktnější. Ideální odpružení vozidla je také schopno měnit světlost výšky vozidla. To je důležité pro jízdu v terénu, aby nedošlo k poškození vozu při přejíždění velkých nerovností. Pokud se vozidlo pohybuje vysokou rychlostí, upravením výškové polohy lze dosáhnout optimálního součinitele vzdušného odporu. To se ve výsledku projeví na spotřebě paliva.

Pro uživatele vozidla jsou však nejdůležitější kritéria jízdního bezpečí a komfortu. Při návrhu tlumení vozidla je velký rozpor mezi jízdním pohodlím a bezpečností. Na utlumení budící frekvence vozovky, které jsou v oblasti rezonance nástavby a nápravy, je vhodné silné tlumení. Díky němu se minimalizují změny zatížení kola, což je důležité pro bezpečnou jízdu. Naopak pro pohodlí a bezpečnou přepravu nákladu, je výhodné mít podvozek s měkčí pružící charakteristikou a menší tlumící silou. Tudíž je nutné, zvolit optimální kompromis mezi jízdním pohodlím a hlediskem jízdní bezpečnosti. Na obrázku 1 je znázorněn graf vyjadřující tento rozpor. V grafu jsou vyneseny závislosti efektivního zrychlení nástavby z_{2ef} a efektivní hodnoty kolísání dynamické síly $(F_{dyn}/F_{stat})_{ef}$. Mezní křivka reprezentuje pasivní odpružení. Z grafu je patrné, že pasivní odpružení není ideální. V oblasti pod mezní křivkou pracují systémy s tzv.: regulovatelným tlumením, které jsou ale mnohem složitější a tudíž i dražší než klasické pasivní odpružení.



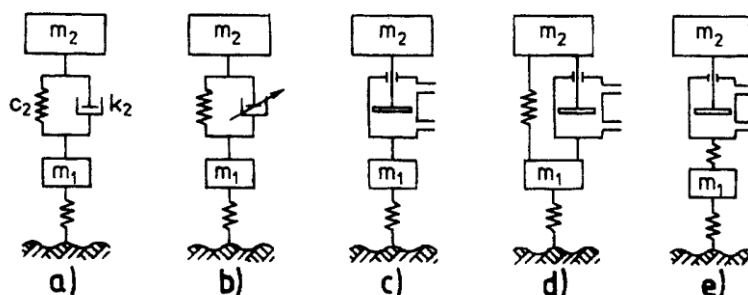
Obr. 1 Konflikt mezi jízdní bezpečností a komfortem [1]



Principiálně se v současné době používají tyto základní druhy odpružení: konvenční (pasivní), adaptivní (pomalé), semiaktivní (rychlé), aktivní. Na obrázku 2 je znázorněno porovnání těchto systémů odpružení z hlediska síly, frekvenční oblasti kde pracují a spotřeby energie, která je nutná k činnosti systému. Obrázek 3 znázorňuje kinematická schémata uspořádání těchto systémů.

	sily	frekvenční oblast	potřeba energie	model
pasivní		—	—	
adaptivní		menší než vlastní frekvence nastavby	malá	
semiaktivní		větší než vlastní frekvence nastavby	malá	
aktivní		a) pomalá: menší než vlastní frekvence nastavby b) rychlá: větší než vlastní frekvence nastavby	vysoká	

Obr. 2 Systémy odpružení vozidel [1]



Obr. 3 Kinematická schémata [1]

- a) pasivní systém
- b) adaptivní systém (pomalý), semiaktivní (rychlý),
- c) aktivní systém rychlý
- d) aktivní rychlý s přidavnou pružinou
- e) aktivní pomalý systém

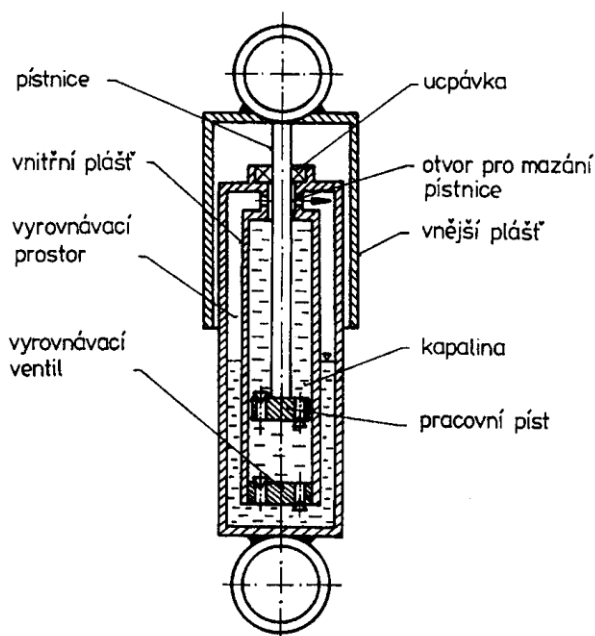


1 PASIVNÍ SYSTÉMY

Tyto podvozky využívají klasické konvenční hydraulické tlumiče (jednoplášťové a dvouplášťové). Pracující spolu s ocelovými pružinami (vinuté, listové, torzní). K jejich funkci není třeba žádná energie z vnějšku. U některých typů pasivních tlumičů je možná změna tlumící síly. Tato změna jde udělat pouze mechanicky za předpokladu, že je vozidlo v klidu. Tento systém se používá u většiny dnes vyráběných automobilů. Je výhodný především pro svou jednoduchost, spolehlivost a cenu.

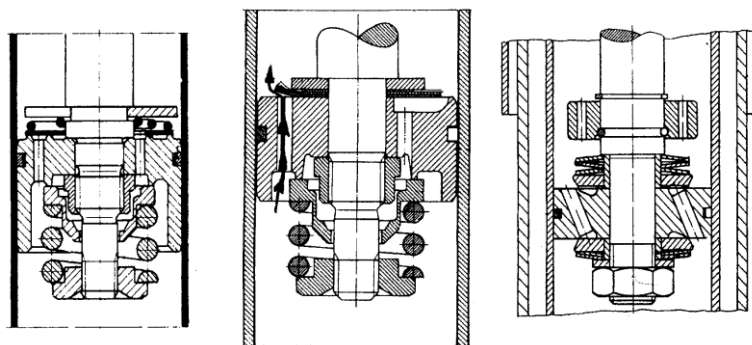
1.1 DVOUPLÁŠŤOVÝ TELESKOPICKÝ TLUMIČ

Tato konstrukce tlumičů se využívá u osobních vozů, SUV, dodávek i lehkých nákladních vozidel. Na obr. 4 je znázorněno funkční schéma dvouplášťového tlumiče.



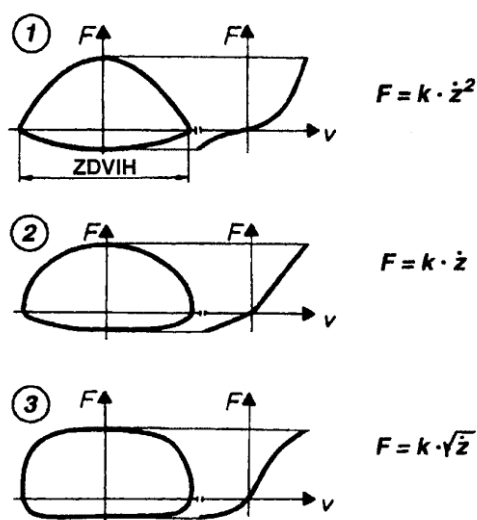
Obr. 4 Dvouplášťový teleskopický tlumič [1]

Základní částí teleskopického tlumiče je vnitřní (pracovní) válec. Jeho průměr se u osobních automobilů pohybuje v rozmezí 22 až 36mm. U nákladních a užitkových vozidel dosahuje pracovní válec maximálního průměru 70mm. Ve válci se pohybuje pracovní píst. Ten je opatřen průtokovými ventily. Na obrázku 5 jsou vidět různé konstrukční řešení pracovního pístu s průtokovými ventily.



Obr. 5 Průtokové ventily [1]

V dnešní době se v automobilovém průmyslu používají pouze tzv.: dvojčinné tlumiče. Pro správnou funkci teleskopického tlumiče je nutné, aby tlumící síla byla při roztahování větší než při stlačování. Při pohybu pístu směrem nahoru (roztahování), proudí kapalina průtokovými otvory na menším poloměru. Ty jsou zakryty deskou, kterou přitlačuje pružina velkou silou na spodní plochu pracovního pístu. Přítlačnou sílu pružiny je možná do jisté míry nastavit pomocí matice, kterou je pružina přichycena k pístu. Naopak pokud se píst pohybuje směrem dolů (stlačování tlumiče), kapalina proudí otvory s větším průřezem, které se nachází na větším poloměru. Jsou zakryty ocelovou membránou. Na ni působí relativně malá přítlačná síla. Tento ventil vytváří při stlačování menší hydraulický odpor, tím pádem i menší tlumící sílu, než ventil pracující při roztahování. Požitím různých průtokových a vyrovnávacích ventilů, přítlačných sil a také různou tuhostí pružin, lze dosáhnout rozdílných tlumících charakteristik. Na obr. 6 jsou vyneseny závislosti tlumící síly na rychlosti a zdvihu pro progresivní, lineární a degresivní charakteristiku.

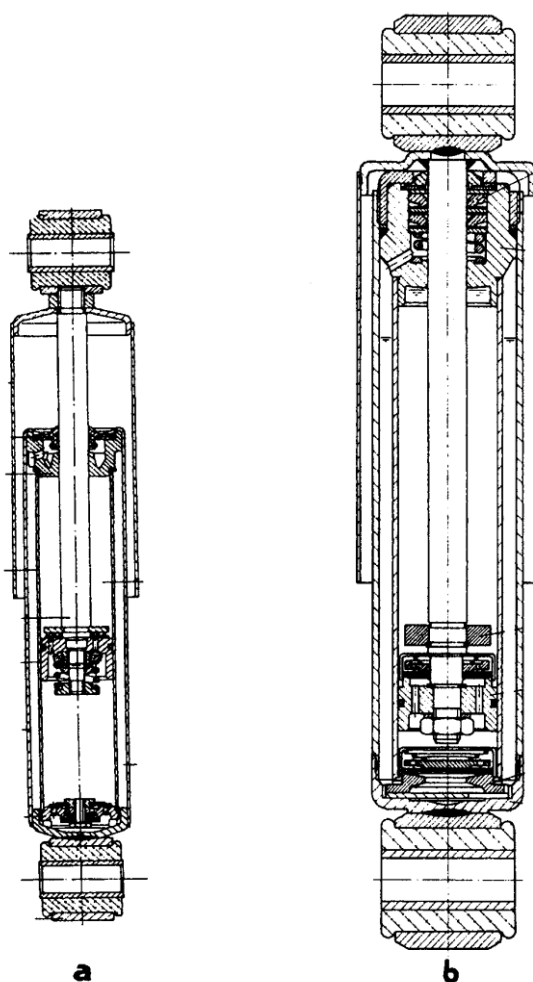


Obr. 6 Závislost tlumící síly na rychlosti a zdvihu [1]

1) progresivní, 2) lineární, 3) degresivní charakteristika



Další částí tlumiče je pístnice, která je na jedné straně připevněná k pracovnímu pístu, prochází skrze pracovní válec, vodící pouzdro pístnice, ucpávku a na druhém konci je připevněna ke vnějšímu plášti. Pracovní válec má ve spodní části umístěny vyrovnávací ventily, které propojují pracovní a vyrovnávací prostor tlumiče. Jeho funkcí je skladování přebytečné kapaliny, kterou vytlačí píst při stlačování a také pro vyrovnání objemu, protože ten se mění v závislosti na teplotě. Při roztahování tlumiče proudí tlumičová kapalina zpět do pracovního válce. Vnější plášť plní ochrannou funkci. Na obou koncích tlumiče se nachází oko (ve kterém je zalisované pryžové pouzdro) nebo čep. Za ně je tlumič připevněný ve vozidle. Na obrázku 7 jsou konstrukční příklady dvouplášťových teleskopických tlumičů pro osobní a nákladní automobily.



Obr. 7 Dvouplášťové tlumiče [1]
a) osobní. b) nákladní automobil

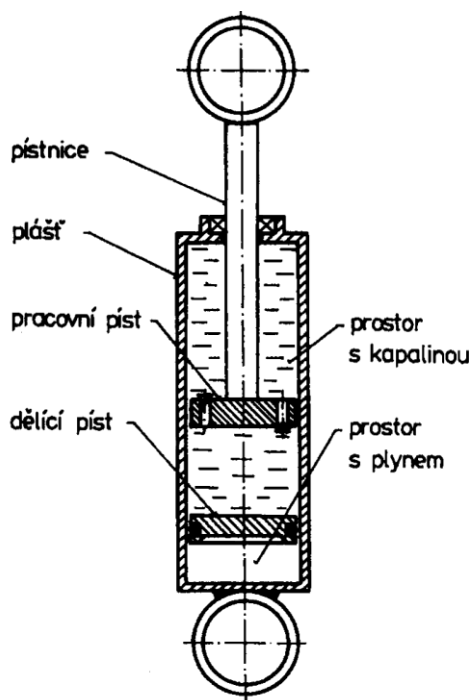
U tohoto typu tlumiče existuje nebezpečí, že při hodně šikmém uložení dojde k vniknutí vzduchu z vyrovnávacího prostoru do pracovního pístu. Z hlediska správné funkce je nezbytné, aby pracovní válec teleskopického tlumiče byl zcela vyplněn tlumičovou kapalinou (tzn.: bez přítomnosti vzduchu), protože jinak by mohlo docházet k výkyvům tlumící síly, což je nežádoucí. Je proto třeba dodržet pravidlo, že dvouplášťový teleskopický tlumič může být uložen ve vozidle pod maximálním úhlem 45° .



Další problém nastává, při přerušení provozu vozidla. Je to tzv.: ranní efekt. Tlumič je zahřátý na provozní teplotu, ale nepohybuje se. Postupným ochlazováním tlumičové kapaliny vzniká vzduchový polštář nad pracovním pístem. Průtokové ventily jsou však zavřené, tudíž je přerušeno spojení s vyrovnávacím prostorem. Při opětovném použití vozidla, dochází z počátku jízdy ke zhoršené činnosti tlumiče a hluku. Jakmile se uvede tlumič opět do provozu, dochází po krátké době k odstranění vzduchu a funkce se vrátí do normálu. K tomuto jevu dochází vlivem teplotní roztažnosti. Aby se tomuto problému předešlo, některé konstrukce tlumičů mají v prostoru mezi ucpávkou a vodícím pouzdrem malý prostor, ve kterém je pracovní kapalina. Při ochlazování, dochází k doplňování kapaliny z tohoto prostoru a tím je tento tzv.: ranní efekt odstraněn.

1.2 JEDNOPLÁŠŤOVÝ TELESKOPICKÝ TLUMIČ

Tyto tlumiče patří k nejpoužívanějším především u osobních automobilů. Na obrázku 8 je zobrazeno funkční schéma jednoplášťového teleskopického tlumiče.



Obr. 8 Jednoplášťový tlumič [1]

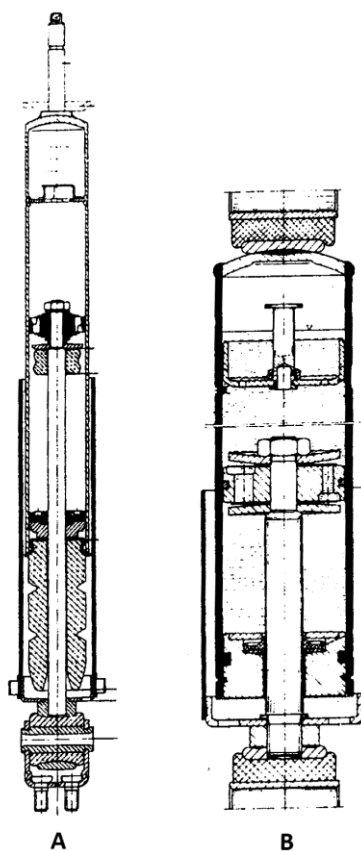
Základ tvoří pracovní válec, ve kterém se stejně jako u dvouplášťového tlumiče pohybuje pracovní píst s průtokovými ventily. Pístnice má vně tlumiče upevňovací kloub. Od něj prochází přes těsnění a vedení pístnice do pracovního válce a jejím konci je píst. Na rozdíl od dvouplášťového tlumiče však neobsahuje tato konstrukce vyrovnávací prostor s vyrovnávacími ventily. Místo toho je ve spodní části tlumiče dělicí píst. Ten se může pohybovat volně ve válci. Pod ním je plynová náplň obvykle s tlakem v rozmezí 0,3 až 0,6 MPa. Proto jsou tyto tlumiče také označovány jako plynokapalinové. Při stlačování tlumiče směrem dolů, protéká kapalina pracovním pístem, respektive ventily do prostoru nad pístem. V obou komorách (nad i pod pístem) je ale tlak (0,3 až 0,6 MPa). Toto řešení má výhodu v tom, že nehrozí riziko v podobě vzniku bublin v tlumičové kapalině. Průtokem kapaliny ventily sice vzniká rozdíl tlaků v obou prostorách (nad a pod pístem), ale tento rozdíl nikdy



nemůže být nižší než kritická hodnota. Proto je jednoplášťový teleskopický plynokapalinový tlumič velice citlivý i na malé zdvihy.

Hlavní problémy jednoplášťových tlumičů jsou životnost a těsnost ucpávky pístnice. To je způsobeno tím, že na ucpávku působí přetlak tlumičové kapaliny. Ten se rovná přetlaku plynu, který je ve vyrovnávacím prostoru pod dělicím pístem. Má to dva nepříznivé dopady. Za prvé, zvýšené nebezpečí prosakování tlumičové kapaliny ucpávkou. Dále pak přetlak způsobuje větší přitlak ucpávky na pístnici, což znamená zvýšené tření mezi nimi. To se samozřejmě projeví na životnosti ucpávky. Další konstrukční nevýhodou těchto tlumičů je, že vodící pouzdro pístnice se nachází až za ucpávkou (na rozdíl od dvouplášťových tlumičů). Toto řešení je tu z důvodu, že tlumičovou kapalinu proudící pouzdem není možné odvést do bezpřetlakového vyrovnávacího prostoru. To se projeví nedostatečným mazáním (tzn. zvýšeným třením) vodícího pouzdra. Tím pádem se pístnice a pouzdro nadměrně opotřebovávají.

Existují konstrukce jednoplášťových tlumičů, které nemají dělicí píst. To znamená, že povrch kapaliny a plyn jsou ve styku. Zde je rovněž nutné zabránit směšování plynu s kapalinou, protože jinak by to nepříznivě ovlivnilo funkci tlumiče (jako například u dvouplášťového tlumiče). Na obrázku 9 je jednoplášťový tlumič s odrazovou příčkou a tlumič s uklidňovacím pístem. Obě tato řešení pomáhají utlumit a uklidnit pohyb tlumičové kapaliny poblíž rozhraní s plynem.



Obr. 9 Jednoplášťový tlumič [1]

A) s odrazovou stěnou

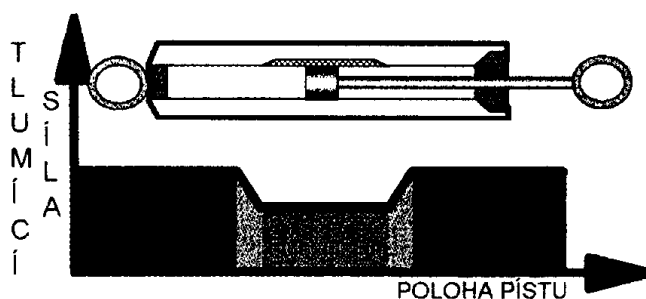
B) s uklidňovacím pístem



1.3 TLUMIČE ZÁVISLÉ NA POLOZE PÍSTU (PSD)

Aby bylo dosaženo větší komfortu a bezpečí, začala se vyvíjet konstrukce tlumičů, které jsou závislé na poloze pracovního pístu. Tento systém se obecně nazývá PSD (Position Sensitive Damping). Proměnná tlumicí charakteristika je závislá na stylu jízdy, zatížení vozidla a v neposlední řadě také na kvalitě vozovky. Pokud jede vozidlo klidně a je mírně zatížené, tlumicí síla je malá. Díky tomu je jízda v takovém voze komfortní. Ve chvíli kdy řidič začne jet agresivněji, nebo například při přejetí větších nerovností, se budou tlumiče více stlačovat, tím pádem bude píst v jiných polohách. V tuto chvíli je z bezpečnostních důvodů nutné, aby byla tlumicí charakteristika tvrdší. Existuje řada řešení, jak toho docílit.

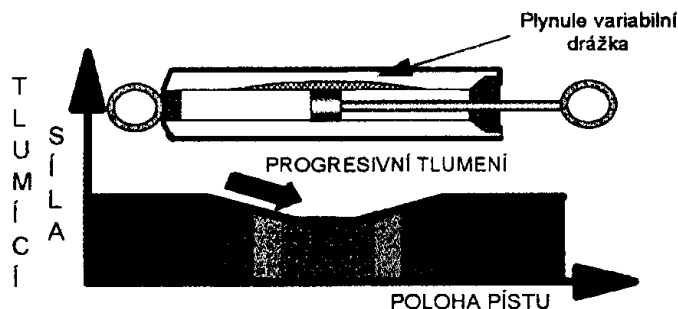
Jedno z nejvíce používaných řešení zavedla belgická firma Monroe. Tlumiče se prodávají pod obchodním názvem SENSE-TRAC. Byly představeny v roce 1991. Základní princip je stejný jako u plynokalinových tlumičů. Na obrázku 10 je vidět schéma tohoto tlumiče a graf znázorňující závislost tlumicí síly na poloze pístu.



Obr. 10 Tlumič SENSE-TRAC [1]

Ve střední části pracovního válce je obtokový kanál. Pokud je píst ve střední části válce, obtokovým kanálem může volně proudit tlumičová kapalina. Během klidné jízdy vozidlem to pocítíme zvýšeným komfortem (měkká charakteristika tlumení). Pokud dojde k větším pohybům zavěšení kola, pracovní píst přejde pryč z pásma, ve kterém je obtokový kanál. To způsobí, že tlumičová kapalina bude proudit jen skrze průtokové ventily. Díky tomu se zvětší hydraulický odpor (a tlumicí síla).

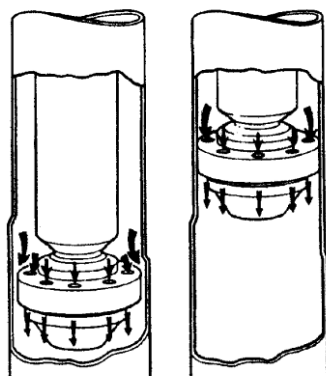
Dalším typem je plynokapalinový tlumič SAFE-TECH. Je rovněž od firmy Monroe, ale má některá inovativní řešení, díky kterým má lepší vlastnosti. Na obrázku 11 je řez tlumičem SAFE-TECH a graf závislosti tlumicí síly na poloze pístu.



Obr. 11 Tlumič SAFE-TECH [1]

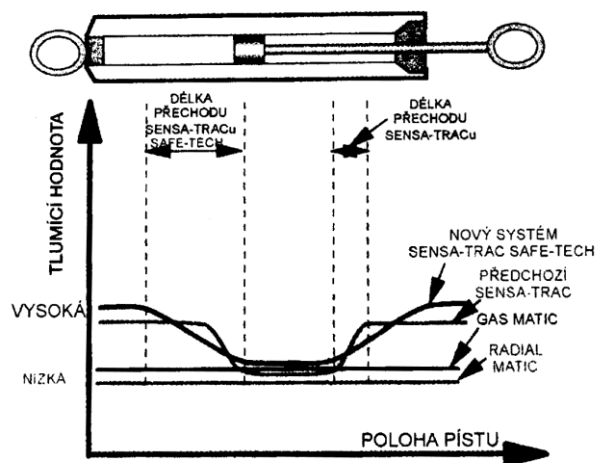


Největší rozdíl od předchozí konstrukce, je v obtokovém kanálu. Ten je navržen tak, aby změna tlumicí síly nebyla tak skoková, jako u systému SENSА-TRAC. Toho je dosaženo tím, že konce obtokové drážky jsou plynule variabilní. Firma Monroe tvar a rozměry této drážky přizpůsobovala na míru jednotlivým typům vozidel, aby bylo dosaženo co nejideálnějších vlastností tlumení. Další změnou prošel také průtokový ventil, který je na obrázku 12.



Obr. 12 Průtokové ventily SAFE-TECH [1]

Na pracovním pístu byl nahrazen svazkem kotoučků z pružinové oceli doplněný pružinou. Díky tomu je ventil jednodušší a především lehčí, takže při přejezdu nerovnosti je reakce tlumiče rychlejší. Dalším přínosem tohoto ventilu je, že zastává tlakové i tahové funkce a tím se snížila hlučnost během provozu tlumiče. U systému SAFE-TECH byl také použit nový druh tlumičového oleje. Jeho rozsah pracovních teplot je od -40°C do 120°C . Problémem všech tlumičových kapalin je, že se změnou teplot se mění i viskozita. To se projeví především změnou tlumicí síly. U standardního oleje je rozdíl tlumicí síly při -40°C 5,4krát větší než při teplotě 120°C . Za předpokladu stejných provozních podmínek, je v případě tlumičů SAFE-TECH rozdíl tlumicí síly 2,1krát vyšší. Na obrázku 13 je znázorněno porovnání tlumicí síly v závislosti na poloze pístu, pro SENSА-TRAC a SAFE-TECH.



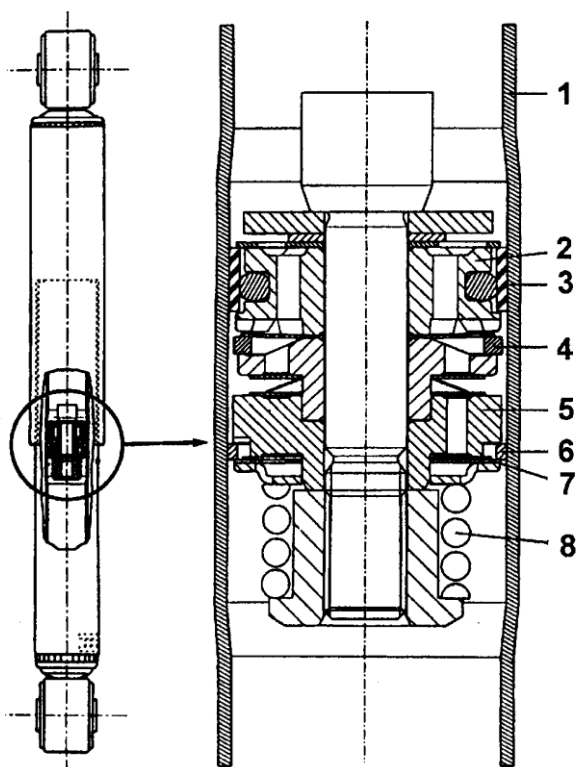
Obr. 13 Porovnání SAFE-TECH a SENSА-TRAC [1]



Na první pohled je patrné, že u novějšího typu tlumičů (SAFE-TECH) je zajištěna lepší funkce. Je to dáno tím že, tlumicí síla se mění pozvolna a proto je nový systém schopen se lépe vyrovnat s kmity, které vznikají při provozu vozidlem.

1.4 TLUMÍCÍ SYSTÉM DCD

Tento systém tlumičů, využívají především velkokapacitní osobní automobily. Jde o klasický kapalinový tlumič, který je upraven tak, aby měnil tlumicí sílu v závislosti na poloze pracovního pístu a zároveň, aby bezchybně pracoval v šikmé poloze (maximálně do 45°). Toto uložení je ve velkokapacitních vozidlech výhodné, protože díky tomu je efektivněji využit prostor. Problém je však v tom, že šikmým uložením se zkracuje délka pohybu pístnice. To je projev sniženou účinností tlumení. Na obrázku 14 je schematicky zobrazen tlumicí systém DCD (Displacement Conscious Damping).



Obr. 14 Tlumič DCD [1]

Změna tlumícího účinku je dosažena speciálním tlakovým válcem. Ten má ve střední části větší průměr než na koncích. Proto je nutné, aby měl pracovní píst speciální uložení pístního kroužku, který je pružný. Je-li vozidlo zatíženo málo, píst se pohybuje ve střední části, kde je pracovní válec rozšířen. Proto jsou hydraulické odpory malé, což vyhovuje potřebám odlehčeného vozidla. Pokud však automobil zatížíme více, píst se posune do prostoru zúženého válce a tlumicí síla se zvětší. Tento tlumicí systém vyvinula firma Monroe a je používán například u vozidel Ford Galaxy, nebo VW Sharan.

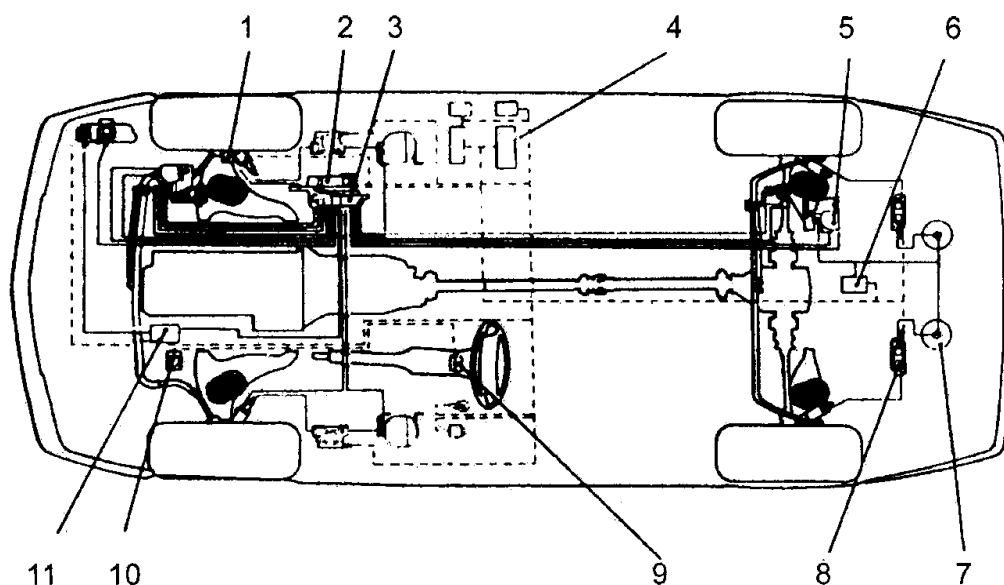


2 ADAPTIVNÍ SYSTÉMY

Pokročilé podvozky automobilů dovedou měnit charakteristiku tlumičů nebo pružin, a proto jsou také označovány jako tzv.: adaptivní pružící systémy. Vyznačují se variabilním tlumením svislých kmitů. Účinek tlumičů může být změněn manuálně (stiskem tlačítka) nebo je ovládán pomocí elektroniky. Adaptivní systémy ke své funkci potřebují senzory. Tlumiče jsou regulovatelné a jsou řízeny elektronickou řídicí jednotkou (ECU). K činnosti systému je třeba dodávat elektrickou energii. Typickým příkladem je elektronicky řízený tlumič EDC (Electronic Damping Control).

2.1 ELEKTRONICKY ŘÍZENÉ TLUMIČE EDC (ELECTRONIC DAMPING CONTROL)

EDC je jeden z prvních adaptivních systémů. Vznikl spoluprací firem BMW, Boge a VDO. Tento systém je schopen velmi rychle nastavit sílu tlumení, v závislosti na několika parametrech jako jsou například jízdní podmínky a dráha nebo zatížení. Ve vozidle je zabudováno několik senzorů (snímač zrychlení kola, zatížení, polohy řízení, zrychlení karoserie a dále také tlakový senzor v brzdovém systému), které poskytují informace řídicí jednotce. Ta je vyhodnotí a nastaví ideální míru tlumení. Ke změně dojde přibližně do 30 ms. Při manévrování, prudkém zrychlení nebo naopak zpomalení je tlumící síla větší a pro klidnou jízdu menší. Řidič má mimo to možnost ovlivnit fungování systému manuálně. Stiskem tlačítka „sport“, dojde ke změně nastavení tlumičů na vyšší útlum kmitání. V tomto režimu se používají tlumiče pouze střední a tvrdé tlumící charakteristiky. V režimu „komfort“, systém automaticky přepíná charakteristiky měkké, střední a tvrdé, v závislosti na aktuální jízdní situaci s ohledem na bezpečnost a komfort. Na obrázku 15 je znázorněn systém EDC schematicky.



Obr. 15 Systém EDC [1]



Nárůst bočního zrychlení je vyhodnocen podle rychlosti změny úhlu natočení volantu. V případě, že automobil projíždí táhlou zatáčkou, působí na něj rovněž vysoké boční zrychlení, aniž bychom museli prudce pohnout volantem. V těchto případech je zrychlení vyhodnoceno z dat o natočení volantu a rychlosti vozidla. Za předpokladu, vysokého bočního zrychlení dojde k automatickému nastavení vyšší tlumicí síly, aby se maximalizovala jízdní bezpečnost.

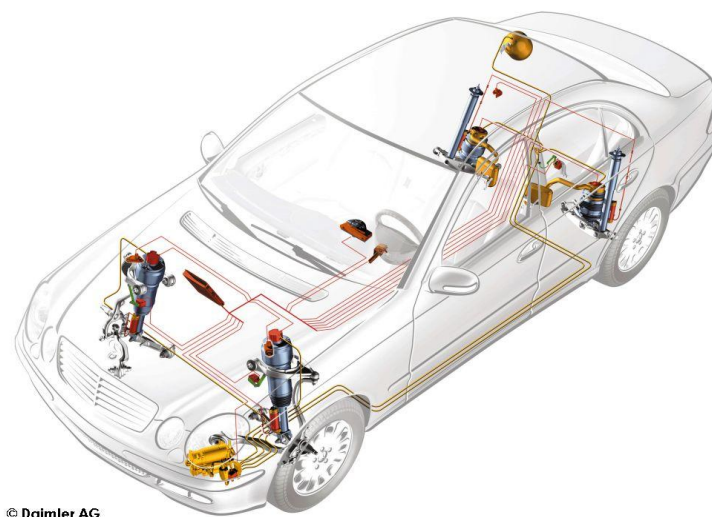
Další oblastí, kterou se tento systém zabývá, jsou brzdné manévry. Při nich dochází k dynamickým změnám radiálního zatížení. V podstatě všechny brzdné manévry jsou řídicí jednotkou rozeznány z informací, které poskytuje tlakový senzor v brzdovém systému. Překročením kritických hodnot tlaku je zahájena změna tlumicí síly na vyšší. Díky tomu dochází k redukci dynamické změny zatížení kol a tím k lepšímu držení stopy vozidla při brzdění.

U vozidel, která jsou vybavena manuální převodovkou, dochází při prudké akceleraci k podélnému kmitání (tzv.: houpání). Systém snímá potenciometrem na škrtkové klapce signály, následně je diferencuje, a pokud dojde k vyhodnocení kritické hodnoty, tlumicí síly jsou navýšeny. V případě vozidel s automatickou převodovkou není nutné dělat opatření proti houpání, protože hydrodynamický měnič je pro buzení podélných kmitů sám o sobě jistým „tlumičem“.

Pokud dojde ke zvýšení hmotnosti vozidla, řídicí jednotka dostane signál od snímače zatížení. Po překročení mezní hodnoty tlaku dojde ke změnám ve vyhodnocování nízkofrekvenčních vertikálních kmitů a posléze k dřívějšímu sepnutí systému na tvrdší tlumení.

2.2 AIRMATIC DC (ADAPTIVE INTELLIGENT RIDECONTROL DUAL CONTROL)

Tento systém používá automobilka Mercedes-Benz. Jde o adaptivní systém, který využívá elektronicky regulovatelné vzduchového odpružení spolu s adaptivním systémem tlumení ADS II, které pracuje automaticky. Na obrázku 16 je schéma systému AIRmatic DC.



Obr. 16 AIRmatic DC [11]



Základní části jsou: komponenty pneumatického pérování na přední a zadní nápravě, kompresor, ventily vzduchových pružin, elektronická řídicí jednotka, senzory a mimo jiné také centrální zamykání. Tyto díly jsou vzájemně propojeny vzduchovým vedením nebo datovou sběrnici CAN (Controller Area Network). Během jízdy mění elektronika tlumicí charakteristiku pneumatického odpružení podle aktuálních potřeb. Systém používá čtyři různé tlumicí charakteristiky pro každé kolo zvlášť. Součástí AIRmatic DC je i integrovaný systém regulace světlé výšky. Ten se stará o udržování konstantní vzdálenosti karoserie od vozovky nezávisle na zatížení vozidla. Další funkcí toho systému je změna výšky v závislosti na rychlosti. Pokud automobil překročí rychlosti 140 km/h, dojde ke snížení vozidla o 15 mm a tím dojde k zmenšení aerodynamickému odporu vozidla. Jakmile klesne rychlost pod 70 km/h, automobil se vrátí do původní výšky. Pod vozidlo jede po špatných komunikacích, řidič má možnost manuálně zvýšit světlou výšku o 30 mm. Pokud řidič překročí rychlost 120 km/h a nebo pojede delší dobu rychleji než 80 km/h, systém opět automaticky vrátí výšku do původní úrovně.

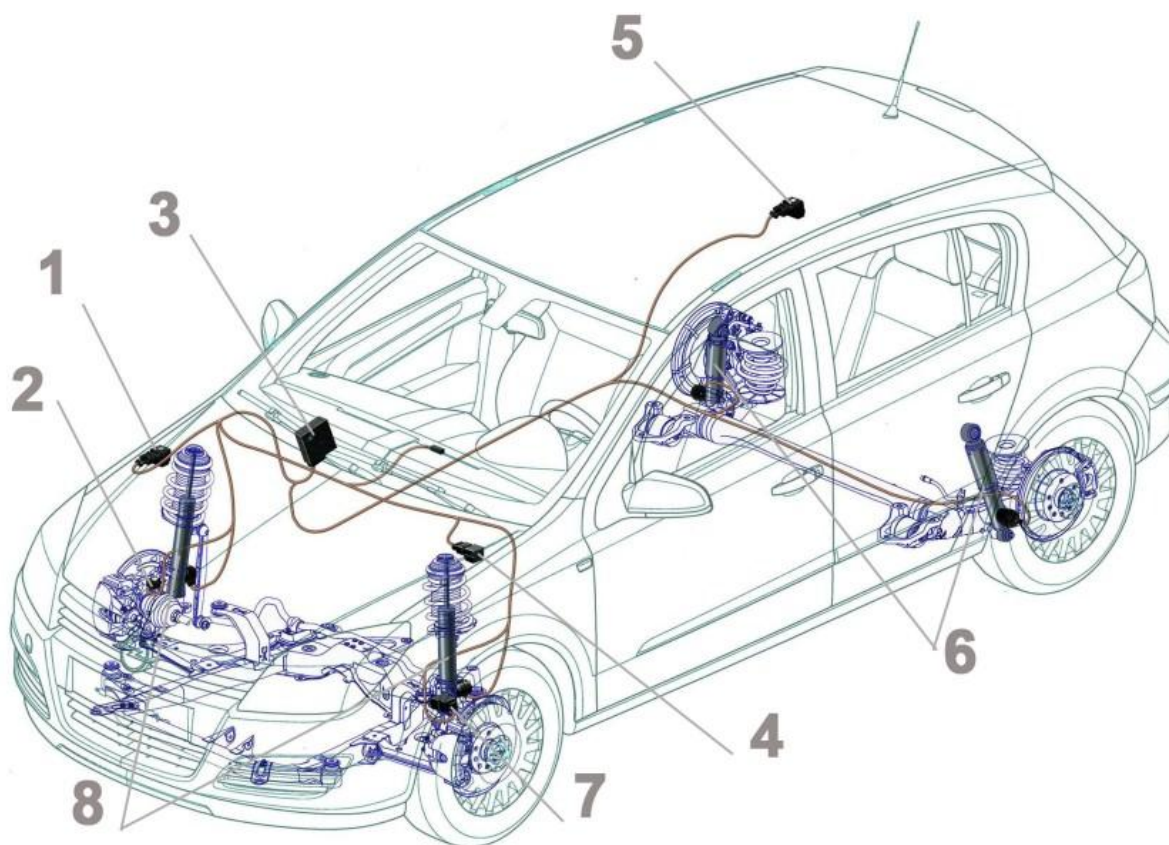


3 SEMIAKTIVNÍ SYSTÉMY

Semiaktivní systémy pracují s větší než vlastní frekvenci nástavby. Pracovní oblast proto není na rozdíl od adaptivních tlumičů omezena několika málo charakteristikami. V praxi je možné regulovat prakticky každý bod tlumící charakteristiky. Důležité ale je, aby byla odezva systému rychlá (do 10ms). Díky tomu je možné efektivně tlumit frekvence nástavby i nápravy.

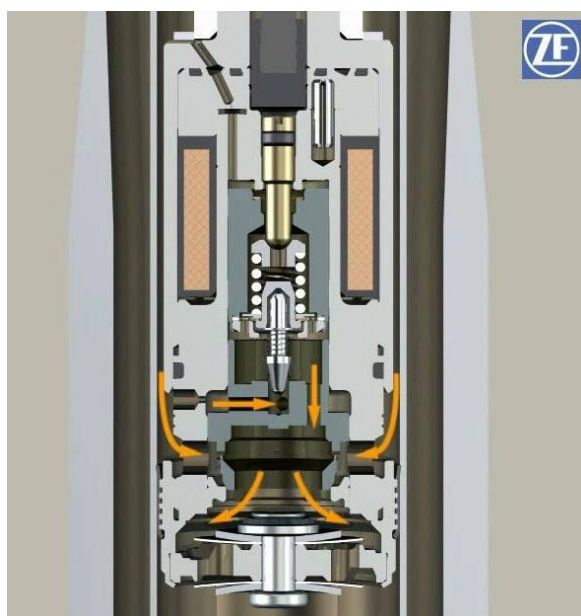
3.1 PLYNULÉ ŘÍZENÍ TLUMIČŮ CDC (CONTINUOUS DAMPING CONTROL)

Na obrázku 17 je schéma systému CDC, jehož součástmi jsou: senzory snímající zrychlení (přední pravý 1 a levý 4, zadní 5), řídicí jednotka ECU 3, senzory snímající zrychlení zavěšení 2 a 7, CDC tlumiče 8 a 6.



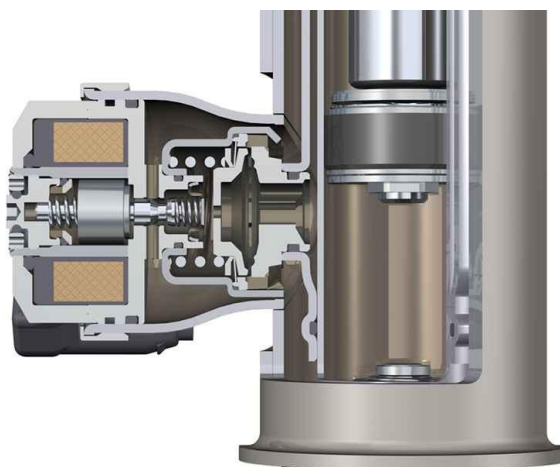
Obr. 17 Schéma systému CDC (Continuous Damping Control) [26]

Tento systém vyvinula firma ZF Sachs a dodává jej mnoho automobilkám jako např.: Audi, BMW, Bentley, Ferrari, Maserati, Porsche, Opel, Lancia, VW. Základní částí systému je tlumič se speciálním řídicím ventilem, který je na obrázku 18.



Obr. 18 Řídící ventil CDCi [27]

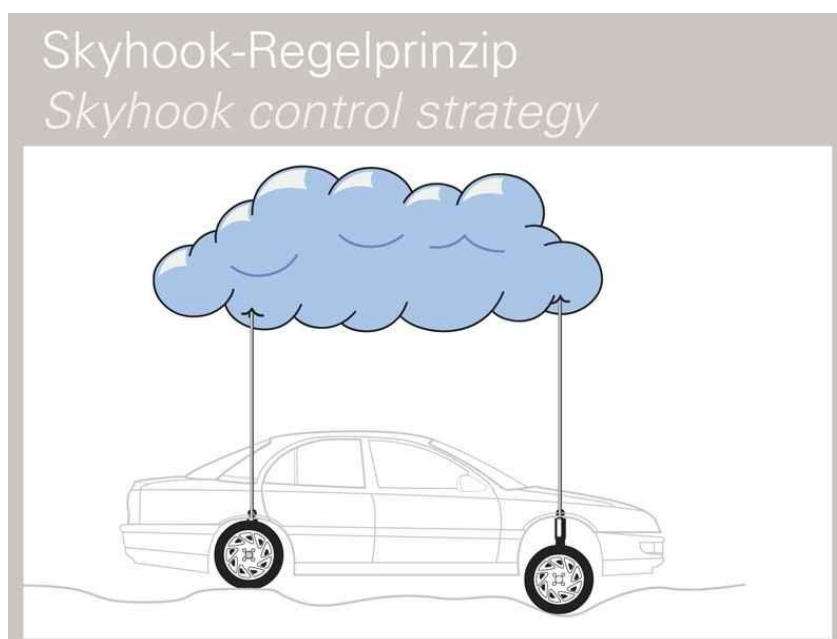
Tento ventil obsahuje pohyblivý člen, jehož poloha je vymezena elektromagneticky ovládaným pístkem. Pohybem tohoto členu dochází k otevírání a zavírání průtokových kanálů a tím pádem i k regulaci průtoku tlumičové kapaliny. Tento tlumič je schopen plynule měnit tlumící charakteristiku. Systém CDC měří (stejně jako EDC) následující parametry: rychlost jízdy, úhel natočení kol, zrychlení, tlak v brzdovém systému a zatížení vozidla. Každé 2ms z těchto informací vyhodnotí elektronická řídicí jednotka stav vozovky, jízdní situaci a následně nastaví proud ovládající ventily jednotlivých tlumičů. Tento proud je upravován až 20 krát za sekundu. Firma ZF Sachs vyvinula dvě verze CDC tlumiče. Na obrázku 3.2 je první z nich a označuje se CDCi. Proporcionální ventil je zabudovaný uvnitř pracovního válce přímo do pístu tlumiče. Z funkčního hlediska je tato verze velmi podobná dvouplášťovému tlumiči s plynule proměnlivými průtokovými ventily. Druhá verze má proporcionální elektromagnetický ventil mimo těleso tlumiče. Označuje se CDCe a je na obrázku 19.



Obr. 19 Proporcionální elektromagnetický ventil CDCe [23]



Tato varianta je prostorově úspornější. Oba tyto druhy CDC tlumičů jsou energeticky relativně málo náročné. Pro činnost systému je potřeba proud v rozmezí 0 až 1,8A a příkon přibližně 15W. V případě poruchy nebo výpadku palubního napětí dochází k přepnutí proporcionálního ventilu tak, aby pracovní okno tlumiče byla tvrdá charakteristika tlumení. V tomto režimu je kladen důraz především na bezpečnost. Za těchto okolností ztrácejí tlumiče adaptivní funkci. Celý systém se snaží pracovat podle filosofie nazvané SKYHOOK (=“nebeský hák“ viz obrázek 20), což je teoreticky optimální odpružení karoserie vozidla. V podstatě jde o udržení karoserie automobilu v konstantní úrovni nezávisle na nerovnostech vozovky, po které se vozidlo pohybuje. Skyhook jako takový se snaží především o komfort pro uživatele vozidla. V praxi je však nutné utlumit i kmitání neodpružených hmot. Proto je třeba, aby systém CDC prováděl korekční zásahy ve chvíli, kdy dojde k některým specifickým situacím. Například výrobce ZF Sachs uvádí, že díky zvýšení tlumicí síly při brzdění se zkrátila brzdná dráha u automobilu Opel Astra o 5% oproti identickému vozidlu s konvenčními tlumiči. Systém také koriguje tlumicí síly při zrychlování a při průjezdu zatáčkou tak, aby zabránil naklánění karoserie vozidla. Řídící jednotka také komunikuje s ostatními systémy ve vozidle jako např.: ABS, ESP nebo posilovač řízení. Tyto tlumiče mimo osobních aut používají i nákladní vozidla, autobusy, zemědělské stroje i motocykly. Firma ZF Sachs plánuje rozšířit výrobu těchto tlumičů do roku 2016 na 3 miliony kusů ročně.



Obr. 20 SKYHOOK [23]



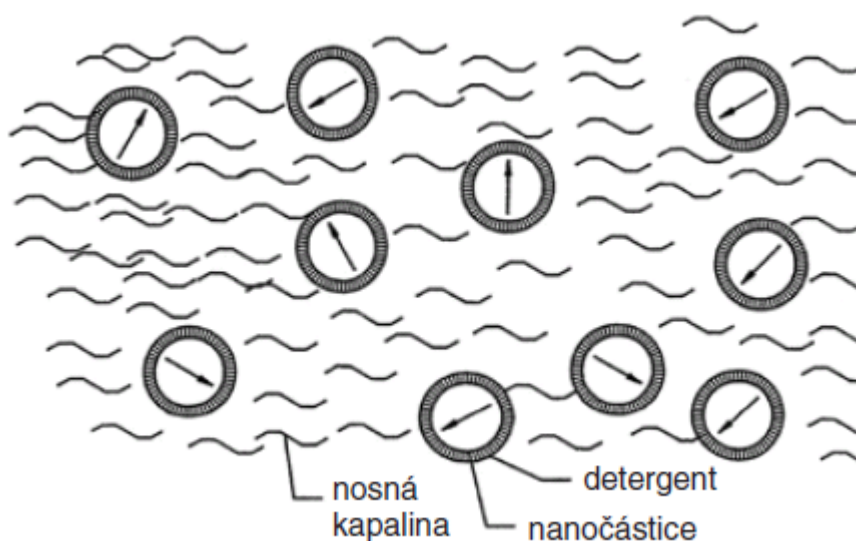
3.2 MR TLUMIČE

Tento systém vyvinula firma Delphi pod názvem MagneRide. Na obrázku 21 je řez MR tlumičem Delphi.



Obr. 21 Magnetoreologický tlumič Delphi [19]

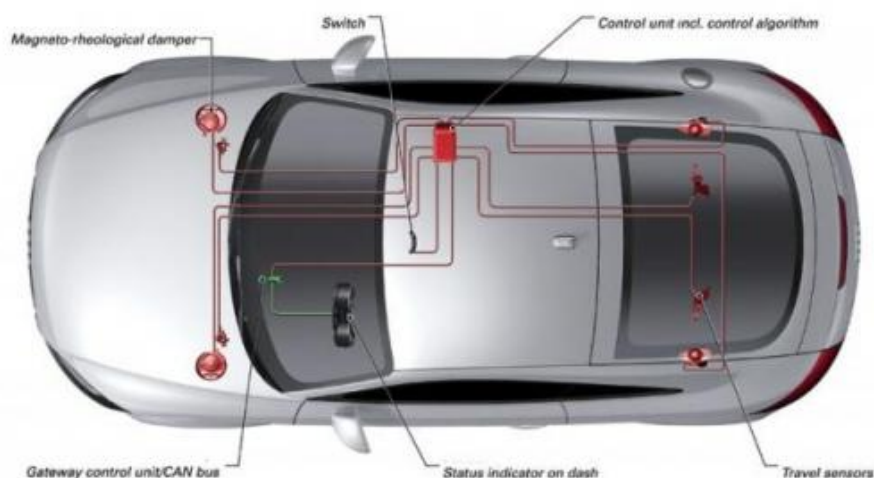
Do širšího povědomí se dostal díky automobilce Audi a jejich modelům TT a R8. Původní verze však byla představena a nasazena do sériové výroby již v roce 2001 v automobilu Cadillac Seville STS. Od roku 2006 jej používá i již zmíněné Audi u modelu TT. Tyto tlumiče nepoužívají klasickou tlumičovou kapalinu. Ta je nahrazena magnetoreologickou kapalinou. Tato kapalina obsahuje 20 až 40% pevných feromagnetických částic o velikosti (řádově) jednoho mikrometru. Tyto částice jsou v nosné kapalině, jako je např.: minerální olej, syntetický olej, voda nebo glykol. Magnetoreologická kapalina dále také obsahuje složku (obvykle detergenty), která zabraňuje částicím ve vzájemné agregaci (shlukování) viz.: obrázek 22.



Obr. 22 Složení magnetoreologické kapaliny [21]

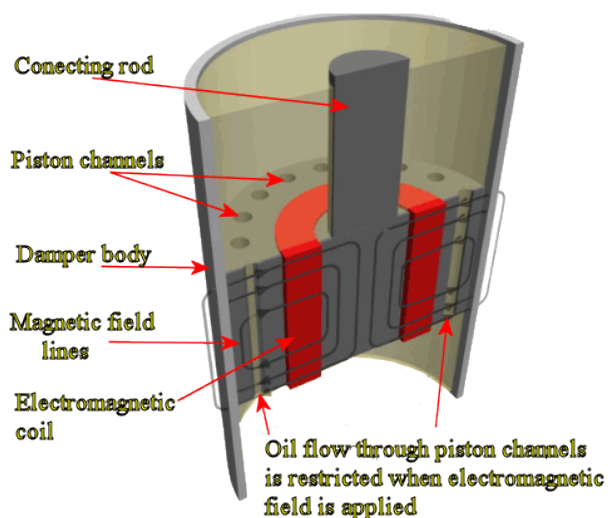
Oproti klasickým feroKapalinám obsahují až o 70% více částic pevných látek. V klidu mají hustotu téměř shodnou s oleji. Tato kapalina je zvláštní především tím, že pokud na ni působí magnetické pole, dojde k prudkému nárůstu viskozity. Částice uvnitř kapaliny se přeskupí do vláknité struktury, obvykle ve směru magnetických siločar. Tato struktura následně omezuje pohyb tekutiny. Jde o takzvaný magnetoviskózní jev. Ve chvíli, kdy cívky přestanou tvořit magnetické pole, magnetoreologická kapalina se začne volně pohybovat po prostoru, magnetické momenty částic jsou orientovány náhodně, a její fyzikální vlastnosti (především viskozita) se vrátí do výchozího stavu, který je velmi podobný klasické tlumičové kapalině. V tomto stavu se kapalina jeví jako nemagnetická. Provozní teploty jsou v rozmezí -40 až 110°C (podle výrobce Delphi). Mezi hlavní nevýhody těchto kapalin patří omezená životnost a ekonomicky náročná výroba. Dalším problémem je odmagnetování (tzn.: změna viskozity zpět na původní hodnoty) MR kapaliny, které je obvykle o něco pomalejší. Výzkumem a vývojem těchto kapalin se v současnosti zabývá mnoho výzkumných týmů. V automobilovém průmyslu mají MR kapaliny velký potenciál pro použití především u tlumičů, ale také spojek.

Na obrázku 23 je schéma systému MagneRide. Systém Audi má centrální řídicí jednotku (ECU), která vysílá signály do cívek na každém tlumiči. Připojené senzory měří celkové síly a zrychlení. Tato data jsou neustále analyzována řídicí jednotkou. Podle toho, co se aktuálně s vozidlem děje, jsou nastaveny magnetoreologické tlumiče. Díky tomu, že tyto tlumiče neobsahují žádné pohyblivé ventily, dokáže systém reagovat v rozmezí 5 až 10ms. Proto patří k nejrychlejším hydraulickým tlumičům na trhu.



Obr. 23 Schéma MagneRide v Audi TT [19]

Napětí v cívkách je možné měnit libovolně. Tím pádem je lze dosáhnout nekonečného množství nastavení tlumičích sil. Spotřeba elektrické energie jednoho tlumiče je přibližně 5W. Na obrázku 24 je řez pístem a cívkou tlumiče MagneRide.



Obr. 24 Řez pístem tlumiče MagneRide [8]

Magnetoreologický tlumič je velice kompaktní zařízení, které nezabere o moc více místa než klasické plynokapalinové tlumiče. Tento systém zároveň spolupracuje se stabilizačními systémy. To se projeví především zvýšenou stabilitou při jízdě po kluzkém povrchu nebo šterku. Podvozek MagneRide je používán v některých verzích vozidel Cadillac DTS, Cadillac SRX, Cadillac STS, Audi TT, Audi R8, Ferrari 599 GTB Fiorano, Ferrari California, Ferrari 458 Italia, Acura MDX, Chevrolet Corvette. Největší nevýhodou odpružení využívající magnetoreologické tlumiče je cena, a proto se vyskytuje jen u nejdražších modelů. V současnosti je v provozu přibližně půl milionu vozidel s MR tlumiči.

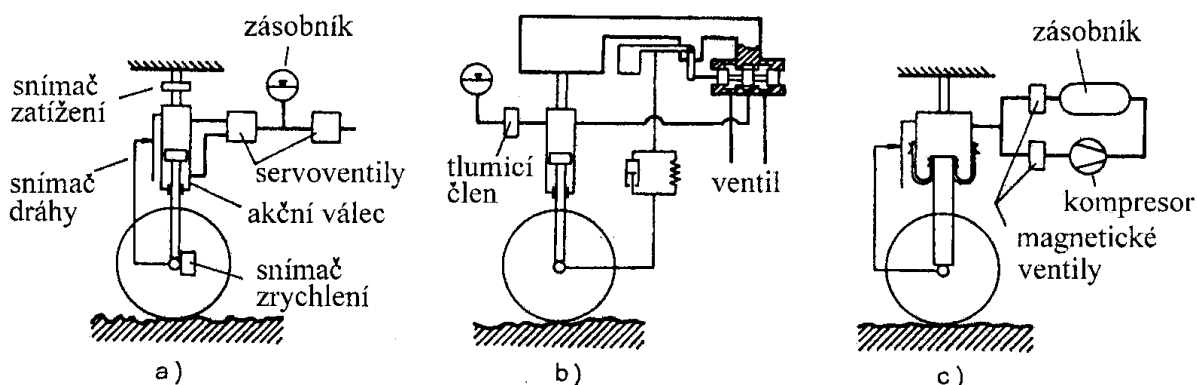


4 AKTIVNÍ SYSTÉMY

Pomalé aktivní podvozky obsahují nastavitelné elementy, které obvykle pracují na pneumatických nebo hydraulických systémech. Tyto podvozky pro svou činnost potřebují méně energie než rychlé aktivní systémy, ale na druhou stranu více než je tomu u adaptivních nebo semiaktivních pružících soustav. O něco pomalejší doba odezvy těchto systémů, oproti aktivním, je způsobena tím, že aktivní elementy jsou používány spolu s pasivními pružinami nebo tlumiči. Typickým zástupcem pomalých aktivních podvozků je systém ABC.

Rychlé aktivní podvozky patří k nejdokonalejším, reguluje se u nich tlumič a zároveň pružící vlastnosti vozidla. Jsou schopny pracovat ve všech čtyřech kvadrantech tlumicí charakteristiky. Díky tomu je možné udržovat karoserii automobilu v konstantní úrovni, nezávisle na nerovnostech na vozovce. I proto je tu oproti konvenčnímu odpružení mnohem více využíváno zdvihu kola. Obecně platí, že aktivní odpružení má mnohem složitější kinematiku, než je tomu u pasivních systémů. A v neposlední řadě jsou energeticky velmi náročné.

Na obrázku 25 jsou schémata tří základních typů aktivních podvozků.



Obr. 25 Schémata aktivních podvozků [1]

- a) Lotus
- b) Williams
- c) Horvat

Prvním je systém firmy Lotus, který je energeticky nejnáročnější. Základ tvoří čtyři rychle pracující válce. Každý z nich je s karoserií vozidla spojen senzorem zatížení kola, který se snaží o to, aby okamžité zatížení kola bylo na statické hodnotě. Na základě signálů přicházejících od senzorů regulují servoventily průtok oleje do pracovních válců. Díky tomu neklade kolo téměř žádný odpor při přejezdu nerovnosti. Celý systém dále potřebuje nejméně jeden dráhově závislý regulační obvod. Ten je v činnosti bezprostředně po přejetí nerovnosti a jeho úkol je udržet i nadále nastavbu automobilu v klidu.

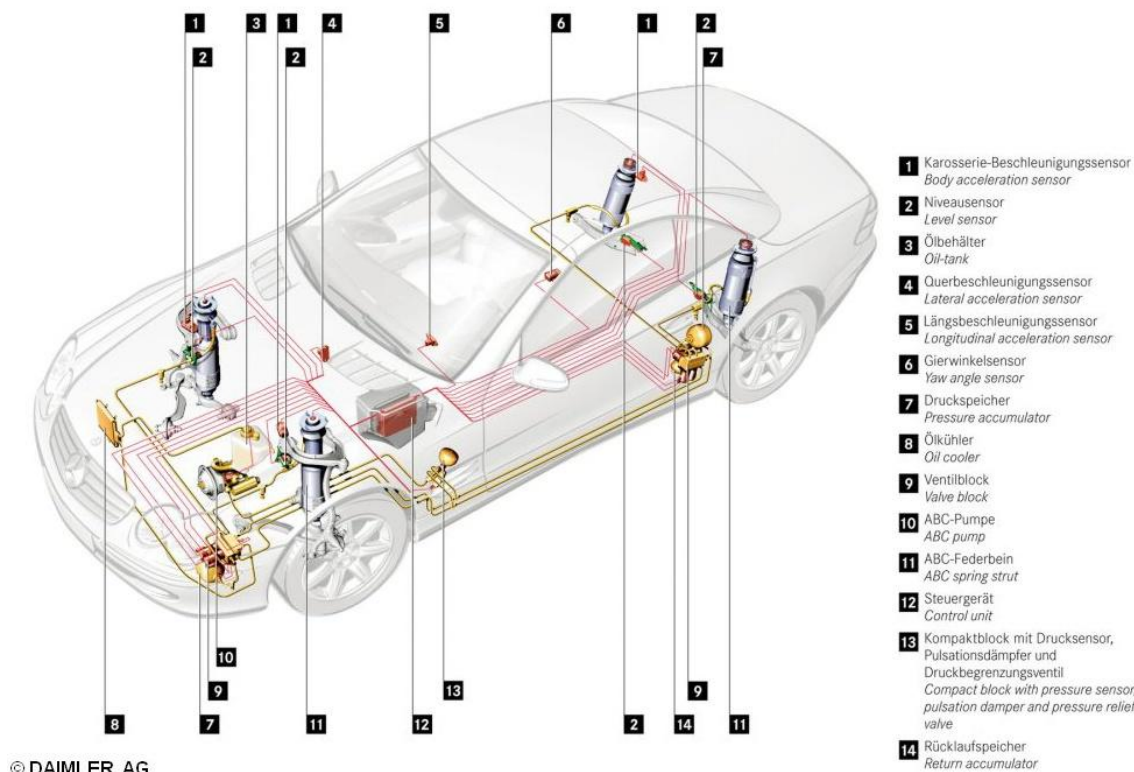
Hlavní nevýhodou tohoto systému je energetická náročnost. Na její snížení existují nejrůznější návrhy. Jednou z možností je systém Williams. Ten vyrovnává jen pohyby vznikající přejetím dlouhých nerovností. Tím pádem se nezabývá aktivním způsobem úplně všemi nerovnostmi. Hydropneumatický systém účelnou regulací oleje vyrovnává pohyby nastavby vozidla.



Vzduchový pružicí systém Horvat rovněž vyrovnává jen pohyby vzniklé na dlouhých nerovnostech, ale kvůli větší energetické šetrnosti jsou použity vzduchové pružiny. Vzduch do nich proudí z centrálního zásobníku. Výhodou je, že vzduch je poměrně dobře stlačitelný. Proto je možné mít v centrálním úložišti uzavřený vzduch v malém objemu za vysokého tlaku a následně jej přivést do pružiny, snížit jeho tlak na nižší hodnoty a tím získat potřebný objem a vlastnosti. Ztráty jsou v tomto případě mnohem menší než u hydropneumatických systémů. Další výhodou je možnost použití systému náprav McPherson. Vzduchových pružicích systémů se hojně využívá pro odpružení sedadel užitkových vozidel.

4.1 ABC (ACTIVE BODY CONTROL)

Tento systém využívá automobilka Mercedes-Benz. Na trh byl uveden v roce 1999 u automobilu Mercedes-Benz CL a šlo o první sériově vyráběné vozidlo s aktivním odpružením na světě. Vývoj tohoto systému však trval 20 let a první prototyp byl veřejnosti představen už v roce 1991. Na obrázku 26 je schematický náčrt ABC.



Obr. 26 Systém odpružení ABC [11]

Základ systému ABC tvoří kompaktní pružicí vzpěra s integrovaným tlumícím (teleskopický tlumič) a pružicím (vinutá pružina) systémem a hydraulickým válcem, který je nastavitelný. Průtok hydraulické kapaliny v okruhu je ovládán proporcionálními ventily. Rychlost regulace je řádově v milisekundách (tzn.: regulace je velmi blízko reálnému času). Tlakový zásobník má dostatečně velký objem a je schopen pracovat s tlaky až 200 barů. Součástí hydraulického okruhu je také olejový chladič. Ve chvíli, kdy automobil zastaví a

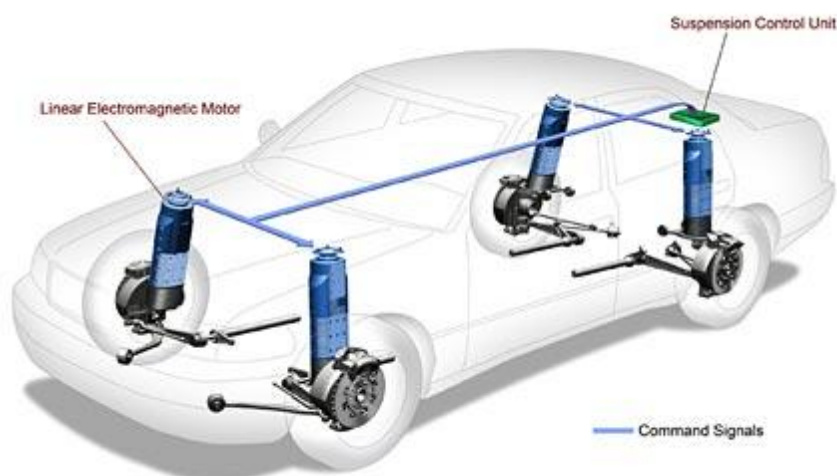


řidič vypne motor, hydraulické ventily se uzavřou a tím zabraňují poklesu karoserie vozidla. Činnost ABC je ovládána řídicí jednotkou. Další neméně důležitou částí jsou senzory. Aktuální jízdní situace je vyhodnocena ze signálů od senzorů podélného, příčného zrychlení a také z tlakových senzorů. Ty jsou v pružících jednotkách u každého kola. Světlou výšku snímají čidla na ramenou kol.

ABC je nejvyspělejší systém odpružení, který v současnosti Mercedes-Benz nabízí. Stabilizuje vozidlo při rozjíždění, zatáčení, brzdění a také má speciální funkci: stabilizace při bočním větru. Tato funkce je aktivní od rychlosti 80km/h při jízdě v mírných zatáčkách a na přímé vozovce. V případě, že řidič automobilu prudce změní směr jízdy, dojde k automatickému vypnutí této funkce.

4.2 MRC BOSE

Tento systém aktivního podvozku je specifický tím, že nepoužívá hydraulické ani pneumatické tlumiče a pružiny. Namísto nich se o odpružení starají lineární elektromotory. Hlavní výhoda spočívá v rychlosti změny tlumící charakteristiky. Hydraulickým aktivním tlumičům, které přizpůsobují průtok tlumičové kapaliny škrtkícím ventilem, trvá změna minimálně 15ms. V případě MR tlumičů, které využívají vlastností magnetoreologických kapalin, je možné uskutečnit změnu tlumící charakteristiky v časovém rozmezí 5 až 10ms. Aktivní podvozek MRC BOSE to díky lineárním elektromotorům zvládá za 1ms, tudíž jde o absolutně nejrychlejší systém na světě. Proto vozidla vybavená touto technologií poskytují velmi vysoký jízdní komfort. Podvozek nemá problém vyrovnat se s nakláněním při zatáčení, zrychlování, brzdění a s nejrůznějšími nerovnostmi na vozovce. Řídicí jednotka tohoto systému zpracovává informace přicházející od kol a v téměř reálném čase vyhodnocuje situaci a vysílá signály zpět k lineárním elektromotorům. Další výhodou je rekuperace energie, která probíhá přímo v elektromotorech. Elektrická energie vzniká každým pohybem závěsu kola a následně se uloží do vysokovýkonných kondenzátorů. V zápětí je tato energie opět spotřebována vyvoláním tlumících účinků. Napětí systému je 300V.



Obr. 27 Schéma systému MRC BOSE [15]



ZÁVĚR

V současné době jsou nejvíce používané pasivní jednoplášťové a dvouplášťové tlumiče. Jejich hlavní výhody jsou: cena, jednoduchost a spolehlivost. Tyto tlumiče jsou v základní výbavě většiny vozů nižší a střední třídy. Právě těchto automobilů je v provozu nejvíce. Dokonce některé automobily vyšší třídy, zejména ty které byly vyrobeny dříve, mají rovněž tyto základní pasivní tlumiče. Pro potřeby běžného řidiče, který vozidlo nevyužívá každý den jako součást jeho pracovní náplně, je toto řešení podvozku za předpokladu kvalitní vozovky zcela dostačující. Problém nastává právě v okamžiku, kdy vozidlo jede po nekvalitní vozovce nebo pokud je plně naložené. V těchto případech dochází k tomu, že vozidla s pasivními tlumiči, nejsou schopny utlumit všechny vznikající kmity. Karoserie vozu se rozkmitá a posádka to pozná ztrátou komfortu. Rovněž z bezpečnostního hlediska není toto řešení ideální. Je dokázáno, že například při brzděném manévru, pokud dojde k zvýšení tlumicí síly, brzdná dráha vozidla se zkrátí. Část těchto problémů řeší pasivní systém nazvaný PSD. Tlumicí síla těchto tlumičů závisí na poloze pístu. Pokud se tento systém dobře naladí, jízdní vlastnosti vozidla se citelně zlepší. Ideální stav to však stále není.

O poznání lépe pracují adaptivní podvozky. Ty jsou schopny měnit charakteristiku tlumičů nebo pružin. Díky tomu zvládají variabilně tlumit svislé kmity. Tento systém je však mnohem složitější. Jeho součástí jsou senzory, řídicí jednotka a v neposlední řadě také nastavitelné tlumiče nebo pružiny. Nevýhodou je, že adaptivní podvozky potřebují pro svou činnost energii (např.: elektrický proud). Této energie však není potřeba zdaleka tolik jako u aktivních systémů. Malá energetická náročnost systému je však vykoupena tím, že změna tlumicí charakteristiky je v rozmezí 0,25 až 1s. Systém umí pracovat s několika tlumíci charakteristikami a v podstatě přepíná mezi nimi. Typickými zástupci adaptivních podvozků jsou ECD (BMW), AIRmatic DC (Mercedes Benz).

Dalším typem jsou semiaktivní podvozky. Ty jsou oproti adaptivním mnohem rychlejší. Jsou schopny změnit tlumicí charakteristiku do 10ms. Součástí systému jsou rovněž senzory, řídicí jednotka a regulovatelné tlumiče. Tyto tlumiče však zvládají upravovat tlumicí charakteristiku podle toho, co je v téměř reálném čase potřeba. To se projeví na jízdních vlastnostech vozu, jak na straně komfortu, tak i z hlediska bezpečnosti. Nejvíce jsou používány tlumiče CDC. Používá je mnoho výrobců aut jako například: Audi, BMW, Opel, Lancia, Porsche, atd. Tyto tlumiče jsou regulovány pomocí proporcionálního elektromagnetického ventilu, který může změnit nastavení až 20krát za sekundu. Dalším typem tlumičů, které se zatím používají v menší míře, jsou MR tlumiče. Ty využívají k regulaci magnetoreologickou kapalinu a cívku, která je zabudována v pístu. Tyto tlumiče jsou schopny měnit tlumicí charakteristiku ještě rychleji než tlumiče CDC, ale jejich hlavní nevýhodou je cena a také omezená životnost magnetoreologických kapalin. Tyto kapaliny se velmi rychle rozvíjí, takže je otázkou času, kdy se stanou levnějšími a tudíž i dostupnějšími. V současné době jsou jen u nejdražších modelů aut jako například: Audi R8, Audi TT, Chevrolet Corvette.

Poslední a zároveň nejdokonalejší podvozky jsou takzvané aktivní. U těchto systémů je regulováno tlumení a zároveň i odpružení. Díky tomu je možné udržovat karoserii v klidu a v konstantní úrovni, i při jízdě po nerovnostech. Rychlost regulace je rovněž pod 10ms. Hlavní nevýhodou je vysoká energetická náročnost. V praxi můžeme vidět aktivní podvozek u Mercedesu, který využívá systému ABC. Velmi zajímavý koncept aktivního podvozku představila firma BOSE. Jejich podvozek používá k odpružení a tlumení vozidla speciální lineární elektromotory. Hlavní výhodou je rychlost regulace. Systém je schopen reagovat



rychlostí 1ms. Další výhodou je rekuperace energie. Tento systém je však pravděpodobně extrémně drahý a proto jej zatím na žádném sériovém vozu nenajdeme.

Do budoucna se dá předpokládat, že bude přibývat automobilů využívající zejména adaptivní a semiaktivní podvozky a to zejména u střední třídy. Ale klasické pasivní tlumiče budou mít i nadále největší podíl na trhu. Je to dáno tím, že jsou zkrátka nejlevnější a hlavní hledisko většiny spotřebitelů je právě cena.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3. přeprac., rozš., aktualiz. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-X.
- [2] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel /.* vyd. 2. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006, 432 s. ISBN 80-239-0024-2.
- [3] DIXON, John C. *The shock absorber handbook*. 2nd ed. Chichester, England: John Wiley, 2007, xi, 415 p. ISBN 04-705-1700-X.
- [4] *Chassis handbook: fundamentals, driving dynamics, components, mechatronics, perspectives*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2011, xxiv, 591 pages. ISBN 978-3-8348-0994-0.
- [5] *Monroe: Czech Republic* [online]. 2013 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z:<http://www.monroe.com/cz-cs/>
- [6] Magnetoreologický tlumič. ROZENBERG, Jaromír. *Automotive - autopriemysel.sk* [online]. 2006 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://www.autopriemysel.sk/index.php?option=com_content&task=view&id=5919&Itemid=118
- [7] 12 miliónů tlumičů CDC od firmy ZF. In: *MotoFocus.cz* [online]. 2012 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z:<http://motofocus.cz/novinky/2177,12-milionu-tlumicu-cdc-od-firmy-zf>
- [8] Magnetic Damper - Magnetorheological Damper. In: *Technical F1* [online]. 2012 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z:http://www.formula1-dictionary.net/damper_magnetorheological.html
- [9] DELPHI CORPORATION. *Delphi MagneRide™*. Michigan, 2005. Dostupné z: <http://www.motor-talk.de/forum/aktion/Attachment.html?attachmentId=488981>
- [10] DAIMLER AG. *TechCenter* [online]. 2014 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z:<http://techcenter.mercedes-benz.com/en/>
- [11] *MercedesClass.net* [online]. 2014 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z:<http://www.mercedesclass.net/>
- [12] *Mercedes Benz* [online]. 2014 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://m.mercedes-benz.cz/>
- [13] ABC (Active Body Control). In: SAJDL, Jan. *Autolexicon.net* [online]. 2009 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/abc-active-body-control/>
- [14] Bose: aktivní podvozek nové generace. In: LÁNÍK, Ondřej. *Auto.cz* [online]. 2004 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/bose-aktivni-podvozek-nove-generace-16657>



- [15] Bose Suspension System. BOSE CORPORATION. *BOSE* [online]. 2010 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://www.bose.com/controller?url=/automotive/bose_suspension/index.jsp
- [16] ZF FRIEDRICHSHAFEN AG. *Suspension Technology*. Schweinfurt, 2011.
- [17] The Suspension Bible. In: *Carbibles.com* [online]. 2013 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://www.carbibles.com/suspension_bible_pg3.html
- [18] MagneRide semi-active suspension of Audi TT. In: *Suspension-audi and peugeot* [online]. 2011 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://suspension-audiandpeugeot.blogspot.cz/2011/10/audi-tt-suspension-type.html>
- [19] PATRASCU, DANIEL. How Magnetorheological Suspension Works. In: *Autoevolution* [online]. 2009 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.autoevolution.com/news/how-magnetorheological-suspension-works-8947.html>
- [20] Audi's new magnetic semi-active suspension system. In: HANLON, Mike. *Gizmag* [online]. 2006 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/go/5752/>
- [21] MAYER, Daniel. Magnetické kapaliny a jejich použití (1. část). *ELEKTRO* [online]. 2007, č. 3 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/elektro/2007/el030778.pdf>
- [22] MAYER, Daniel. Magnetické kapaliny a jejich použití (2. část – dokončení). *ELEKTRO* [online]. 2007, č. 4 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/elektro/2007/el040704.pdf>
- [23] CDC: aktivní tlumiče letos našly cestu do běžných aut!. In: LÁNÍK, Ondřej. *Auto.cz* [online]. 2004 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/cdc-aktivni-tlumice-letos-nasly-cestu-do-beznych-aut-16717>
- [24] ZF produces the twelve millionth CDC damper for passenger cars. In: *Transportweekly* [online]. 2012 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.transportweekly.com/pages/en/news/articles/89688/>
- [25] Continuous Damping Control (CDC). In: *Volkswagen* [online]. 2014 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://en.volkswagen.com/en/innovation-and-technology/technical-glossary/continuous_dampingcontrolcdc.html
- [26] Changing CDC Dampers. In: *ZF Friedrichshafen AG* [online]. 2012 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://www.zf.com/corporate/en/products/services/report/02_2012/trainers_corner_2_1/trainers_corner.html
- [27] © ZF FRIEDRICHSHAFEN AG. *ZF Friedrichshafen AG* [online]. 2014 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.zf.com/corporate/en/homepage/homepage.html>



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Konflikt mezi jízdní bezpečností a komfortem [1]	9
Obr. 2 Kinematická schémata [1]	10
Obr. 3 Systémy odpružení vozidel [1]	10
Obr. 4 Dvouplášťový teleskopický tlumič [1]	11
Obr. 5 Průtokové ventily [1]	12
Obr. 6 Závislost tlumicí síly na rychlosti a zdvihu [1]	12
Obr. 7 Dvouplášťové tlumiče [1]	13
Obr. 8 Jednoplášťový tlumič [1]	14
Obr. 9 Jednoplášťový tlumič [1]	15
Obr. 10 Tlumič SENSE-TRAC [1]	16
Obr. 11 Tlumič SAFE-TECH [1]	16
Obr. 12 Průtokové ventily SAFE-TECH [1]	17
Obr. 13 Porovnání SAFE-TECH a SENSE-TRAC [1]	17
Obr. 14 Tlumič DCD [1]	18
Obr. 15 Systém ECD [1]	19
Obr. 16 AIRmatic DC [11]	20
Obr. 17 Schéma systému CDC (Continuous Damping Control) [26]	22
Obr. 18 Řídící ventil CDCi [27]	23
Obr. 19 Proporcionální elektromagnetický ventil CDCe [23]	23
Obr. 20 SKYHOOK [23]	24
Obr. 21 Magnetoreologický tlumič Delphi [19]	25
Obr. 22 Složení magnetoreologické kapaliny [21]	26
Obr. 23 Schéma MagneRide v Audi TT [19]	27
Obr. 24 Řez pístem tlumiče MagneRide [8]	27
Obr. 25 Schémata aktivních podvozků [1]	28
Obr. 26 Systém odpružení ABC [11]	29
Obr. 27 Schéma systému MRC BOSE [15]	30