



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MĚŘENÍ SÍLY NA TLUMIČI ZA JÍZDY

ON-ROAD DAMPER FORCE MEASUREMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Filip Hornák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Filip Hornák
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

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 diplomové práce:

Měření síly na tlumiči za jízdy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedním z přístupů pro stanovení dynamického zatížení kola je výpočet na základě znalosti svislých sil působících na neodpruženou hmotu a měření jejího zrychlení. Svislé síly od pružiny a tlumiče lze stanovit z jejich deformace respektive rychlosti a znalosti příslušných charakteristik pružiny a tlumiče. Vlivem hystereze a dalších faktorů však tento dopočet svislého zatížení kola není zcela spolehlivý. Mnohem vhodnější by bylo přímé stanovení síly tlumiče přímo za jízdy, čímž by i dopočet dynamické síly byl mnohem přesnější a v důsledku spolehlivější hodnocení vlivu charakteristik odpružení na dynamickou sílu a chování vozidla.

Cíle diplomové práce:

Provést rešerši metod pro měření tlumicí síly v tlumiči odpružení.

Navrhnout metodiky měření síly tlumiče za jízdy.

Sestavit měřicí řetězec pro metodiku.

Implementovat metodiku na konkrétní automobil.

Seznam doporučené literatury:

JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav a ČUPERA Jiří. Automobily (1): Podvozky. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. 245 s. ISBN 978-80-87143-11-7.

GILLESPIE, Thomas. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. 519 s. ISBN 1-56091-199-9.

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

BUDYNAS, Richard G., NISBETT, J. Keith a SHIGLEY, Joseph Edward. Shigley's mechanical engineering design. 10th edition. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2015. 1104 s. ISBN 0073398209.

DIXON, John C. The Shock Absorber Handbook. 2nd Edition. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2007. 432 s. ISBN 0-7680-0050-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

V prvej časti diplomovej práce sú popísané základné typy a funkcie tlmičov, na čo nadväzuje vypracovanie prehľadu súčasných metód merania tlmiacej sily tlmičov demontovaných, ale aj osadených na vozidle. Následne je vypracovaný návrh meracieho reťazca, ktorý je určený k meraniu sily na tlmiči za jazdy. Voľba a umiestnenie jednotlivých snímačov sú predstavené na 3D modeli tlmiča osobného automobilu. Na konci práce sú zhodnotené podmienky použitia meracej zostavy a jej univerzálnosť.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

tlmič, odpruženie, testovacie zariadenie, meracia zostava, snímač

ABSTRACT

The first part of the master's thesis deals with basic types and functions of dampers, together with a search of commonly used methods of damper force measurements. Consequently, a design of an on-road damper force measuring assembly is made and positioned onto a 3D model of a vehicle's damper. In the final part of the thesis there is made an evaluation of conditions of use of the measuring assembly together with its versatility.

KEYWORDS

damper, suspension, test rig, measuring assembly, sensor

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

HORNÁK, Filip. *Měření síly na tlumiči za jízdy*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132185>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Petr Hejtmánek.



ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Petra Hejtmánka, Ph.D. a s použitím informačných zdrojov uvedených v zozname.

V Brne dňa 20. mája 2021

.....

Filip Hornák

POĎAKOVANIE

Chcel by som sa poďakovať Ing. Petrovi Hejtmánkovi, Ph.D. za ústretovosť a užitočné rady a pripomienky k vypracovaniu diplomovej práce.

Ďakujem rodine, kolegom a priateľom za silnú podporu a pomoc po celú dobu svojho štúdia.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Sústava odpruženia a tlmenia.....	12
2 Konštrukcia tlmičov	14
2.1.1 Dvojplášťový plynokvapalinový tlmič s otvorenou vyrovnávacou komorou	14
2.1.2 Dvojplášťový plynokvapalinový tlmič s uzavretou vyrovnávacou komorou	15
2.1.3 Jednoplášťový plynokvapalinový tlmič.....	16
2.1.4 Position-Sensitive Damper (PSD)	18
2.1.5 Displacement Conscious Damper (DCD)	19
2.1.6 Adaptívne tlmiče	20
2.1.7 Aktívne podvozky	23
2.2 Silové charakteristiky tlmiča.....	24
2.2.1 Rýchlostná charakteristika.....	24
2.2.2 Zdvihová charakteristika	25
3 Metódy merania sily na tlmiči	26
3.1 Meranie charakteristík demontovaných tlmičov.....	26
3.1.1 Mechanický dynamometer	27
3.1.2 Hydraulický dynamometer	28
3.1.3 Elektromagnetický dynamometer.....	29
3.2 Bezdemontážové meranie charakteristík tlmičov	30
3.2.1 Rezonančná adhézna metóda.....	30
3.2.2 Rezonančná amplitúdová metóda.....	31
3.2.3 Impulzná dokmitová metóda	32
3.2.4 Four-post test rig.....	33
3.2.5 Seven-post test rig	34
4 Schematické zobrazenie návrhu.....	36
5 Návrh meracej zostavy	37
5.1 Model zostavy	38
5.2 Snímače sily	39
5.3 Umiestnenie snímačov sily	42
5.3.1 Kontrola zaťaženia	43
5.3.2 Špecifiká zavesenia typu MacPherson	44
5.3.3 Snímač šmykovej sily.....	47
5.4 Snímač polohy	47
5.5 Umiestnenie snímača polohy	52
5.6 Snímač teploty	57
5.7 Umiestnenie snímača teploty	58
5.8 Záznamník údajov (datalogger).....	59
6 Meracia zostava v praxi	60
6.1 Univerzálnosť použitia.....	60
6.2 Vonkajšie podmienky merania	60
6.3 Jazdné skúšky	61

Záver	62
Použité informačné zdroje.....	63
Zoznam použitých skratiek a symbolov.....	66
Zoznam príloh	69

ÚVOD

V súčasnosti, kedy sa kladie čím ďalej tým väčší dôraz na bezpečnosť vozidiel v premávke, je pozornosť zameraná najmä na elektronické bezpečnostné systémy, ako sú napr. ABS, ESP, TCS a mnohé ďalšie. Avšak ich správna činnosť môže byť značne obmedzená, ak vozidlo stratí kontakt s vozovkou. Túto úlohu plní sústava odpruženia, ktorá vytvára prepojenie karosérie s pneumatikami. Jej nemenej dôležitou úlohou je zabezpečiť, aby sa vozidlo pri prejazde zákrutou, vyhýbaní sa prekážke, či prudkom brzdení správne spoľahlivo, čo je docielené za predpokladu, že odpruženie vozidla funguje správne a neprejavujú sa jeho nedostatky.

Postrehnúť poruchu, či opotrebenie tlmiča nie je také jednoduché, ako spozorovať defekt na pneumatike. Deje sa to postupne – opotrebovanie povrchov trením, či pôsobenie kavitácie pomaly, ale isto znehodnocujú jednotlivé časti tlmiča, na čo sa pri podcenení ich kontroly môže prísť až príliš neskoro. Testy tlmičov vyžadujú špeciálne zariadenia na meranie charakteristík, či už je to testovanie demontovaných tlmičov na meracích stavoch alebo bezdemontážové testy vykonávané na komplexných zariadeniach.

Osobitným spôsobom merania tlmiča je testovanie v reálnych podmienkach. Touto metódou sa dá doceliť zisk presnejších charakteristík tlmiča a spoľahlivejšie posúdenie ich vplyvu na jazdné vlastnosti a správanie vozidla. Cieľom tejto diplomovej práce je návrh a popis takéhoto typu metodiky merania.

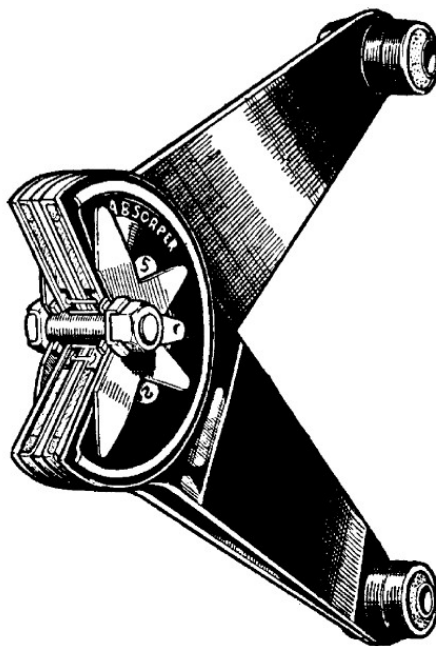
1 SÚSTAVA ODPRUŽENIA A TLMENIA

Sústava odpruženia a tmenia je neodlučiteľnou súčasťou každého automobilu, ktorej základnými funkčnými prvkami sú pružina a tlmič. Funkciu zmiernovania účinkov nárazov od nerovností vozovky plní pružina. Úlohou tlmiča je eliminovanie kmitania a absorpcia prebytočnej mechanickej energie pružiny a pneumatiky. Túto energiu tlmič premieňa na teplo.

Sústava zaručuje elastické prepojenie kolies vozidla s jeho karosériou a jej primárnou úlohou je plniť funkciu ochrany posádky voči nežiaducim vplyvom (otrasy, kmity). Umiestňuje sa medzi nápravu a rám automobilu tak, aby bola pružina k tlmiču čo najbližšie. Je to zásadný prvok automobilu nielen z hľadiska komfortu, ale predovšetkým z hľadiska aktívnej bezpečnosti. Pre dobrú ovládateľnosť a schopnosť okamžite reagovať je dôležité, aby sa pneumatiky neustále dotýkali vozovky. Medzi tieto reakcie najčastejšie patrí vyhábanie sa prekážkam a brzdenie. A práve dĺžka brzdnjej dráhy a celková ovládateľnosť automobilu sú závislé na tejto kľúčovej súčasti podvozku. Správne nastavenie a pravidelný servis tlmičov zabezpečuje presnú odozvu riadenia a taktiež, v neposlednom rade, ochranu pred nadmerným namáhaním šasi vozidla. Je zrejmé, že táto súčasť dokáže ovplyvniť mnoho vlastností automobilu. Konštruktéri sa preto snažia nájsť optimálne vyváženie medzi dvomi premennými - komfortom a jazdnou bezpečnosťou [1], [2].

Základné požiadavky odpruženia vozidla je možné zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- ochrana pasažierov pred nežiaducimi otrasmi
- ochrana karosérie pred tvrdými rázmi od kolies (zvýšenie životnosti)
- zabezpečenie neustáleho kontaktu kolies s vozovkou
- tlenie pozdĺžnych síl budených rozjazdom a brzdením
- tlenie priečných síl budených prejazdom zákrutou

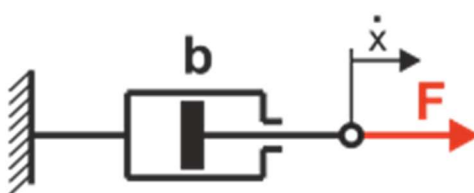


Obr. 1 Trecí tlmič Andre Hartford, jeden z prvých typov tlmičov aplikovaných na automobily [1]

Funkcia tlmenia je založená na vnútornom trení v kvapaline alebo plyne, a sčasti aj na mechanickom trení jednotlivých častí tlmíča. Toto pracovné médium, najčastejšie olej, obsiahnuté vnútri tlmíča je pretláčané z jedného priestoru do druhého skrz otvory, ktoré pomocou požadovaného nastavenia presne vymedzujú priestor, cez ktorý môže byť kvapalina prepustená. Pri pohybe piestu je vytváraný hydraulický odpor kvapaliny a kinetická energia sa premieňa na teplo. Vzniknutý odpor spolu s mechanickým trením vytvára tlmiacu silu [1], [2].

Ideálne tmenie translačného tlmíča s fixovaným koncom je popísané rovnicou vyjadrujúcou veľkosť tlmiacej sily v závislosti na konštante tlmenia a rýchlosti pohybu piestu. Konštanta tlmenia b sa určuje experimentálne. Pre translačný tlmíč platí [3]:

$$F(t) = b \cdot \dot{x}(t) \quad (1)$$

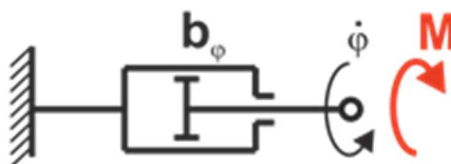


Obr. 2 Zjednodušená schéma translačného tlmíča [3]

Pre torzný tlmíč, obdobne, platí nasledovná rovnica [3]:

$$M(t) = b_{\varphi} \cdot \dot{\varphi}(t), \quad (2)$$

kde $M(t)$ je odporový moment, b_{φ} je konštanta torzného tlmenia a $\dot{\varphi}(t)$ je uhlová rýchlosť torzného tlmíča.



Obr. 3 Zjednodušená schéma torzného tlmíča [3]

Torzné tlmíče sú používané pri tlení torzných kmitov kľukového hriadeľa pri nerovnomernosti chodu motora vplyvom spaľovacích procesov vo valcoch.

2 KONŠTRUKCIA TLMIČOV

Existuje mnoho typov a druhov tlmičov založených na rôznych princípoch. V minulosti používané trecie alebo pákové tlmiče dnes nahradili teleskopické tlmiče, ktoré sú v súčasnosti najviac využívaným typom v automobilovom priemysle. Drvivá väčšina tlmičov používa ako tlmiace médium kombináciu kvapaliny a plynu. Rozdelenie a kategorizovanie najčastejšie používaných druhov je nasledovné [4], [5], [6].

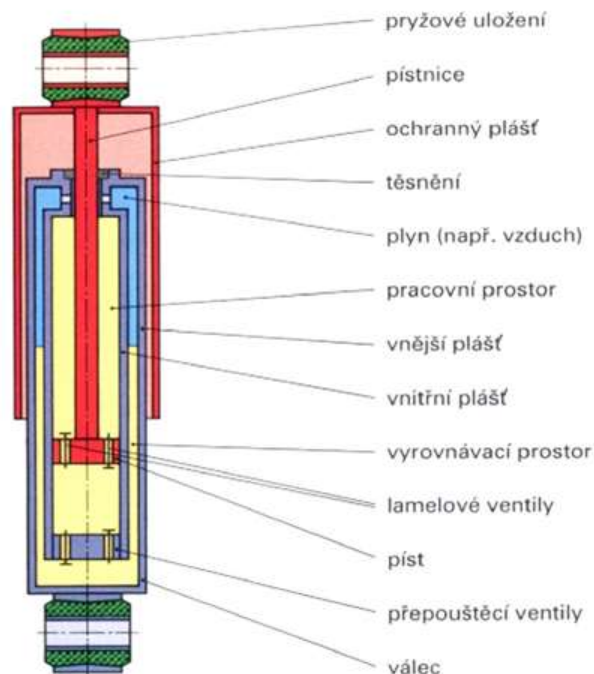
Podľa základnej konštrukcie:

- jednoplášťové
- dvojnoplášťové

Podľa možnosti zmeny charakteristiky tlmenia (možnosti regulácie):

- pasívne
- adaptívne
- aktívne (komplexné systémy podvozku)

2.1.1 DVOJPLÁŠŤOVÝ PLYNOKVAPALINOVÝ TLMIČ S OTVORENOU VYROVNÁVACOU KOMOROU



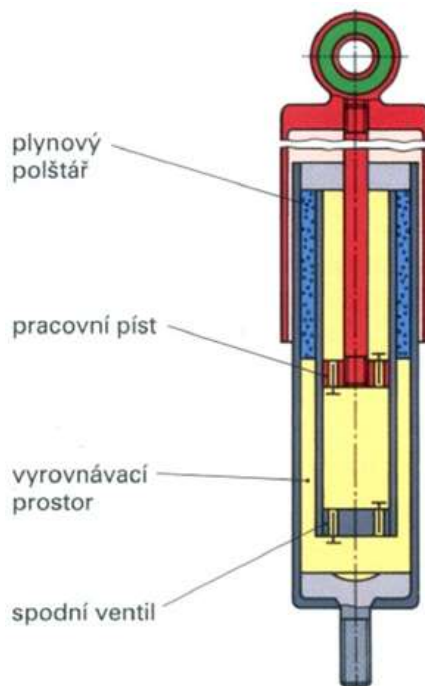
Obr. 4 Prierez dvojnoplášťovým tlmičom (otvorená komora) [5]

Znakom dvojplášťového tlmiča je, ako z názvu vyplýva, jeho dvojplášťová konštrukcia, do ktorej sa počíta prekrytie pracovného priestoru a vyrovnávacieho priestoru. Jeden plášť ešte navyše pokrýva vrchnú časť piestu a je spojený s piestnicou. Má ochrannú funkciu, chráni piestnicu a vrchnú časť piestu pred nečistotami alebo kontaktom s okolím. Piestnica s ochranným plášťom sú pripevnené ku karosérii vozidla pomocou gumového uloženia. Rovnako je tak tlmič na jeho opačnom konci pripevnený o zavesenie kola.

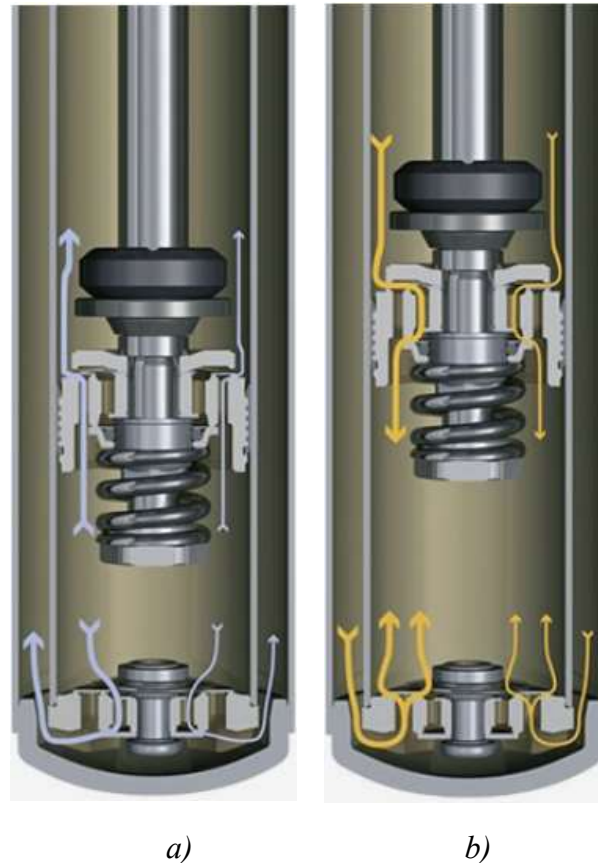
Pracovný priestor je vyplnený olejom. Pri pohybe piestu smerom dolu olej preteká skrz malé otvory lamelového ventilu do priestoru nad piestom. Zvyšný olej sa vytláča cez prepúšťacie ventily do vyrovnávacieho priestoru, ktorý je ním vyplnený približne do polovice. Zvyšok vyrovnávacej komory vyplňa vzduch, ktorý má atmosférický tlak a je spojený s okolím pomocou malých otvorov. Pri spätnom pohybe sa nasáva olej cez spodný ventil z vyrovnávacieho priestoru späť do pracovného priestoru. Odporová sila je závislá na rýchlosti pohybu piestnice a vlastnosťami ventilu (veľkosť otvoru, potrebný tlak na jeho otvorenie) [2], [4], [5], [6], [7].

2.1.2 DVOJPLÁŠŤOVÝ PLYNOKVAPALINOVÝ TLMIČ S UZAVRETOU VYROVNÁVACOU KOMOROU

Je veľmi podobný tlmiču s otvorenou vyrovnávacou komorou, rozdiel medzi nimi spočíva vo vyrovnávacom priestore. Pri tomto type je vyrovnávacia komora uzavretá a je vyplnená dusíkom o tlaku 0,2 až 0,8 MPa. Oproti jednoplášťovému tlmiču sa vyznačuje nižšou cenou a menšou dĺžkou. Avšak, nevýhodami dvojplášťových tlmičov je nemožnosť ich inštalácie pod sklonom väčším ako 45°, chladenie je komplikovanejšie a plyn nie je oddelený od kvapaliny, čo spôsobuje aeráciu (prevzdušňovanie kvapaliny) a zmenu tlmiacich vlastností [2], [5], [7].



Obr. 5 Prierez dvojplášťovým tlmičom (uzavretá komora) [5]



Obr. 6 Tok oleja v dvojplášťovom tlmiči pri a) kompresii, b) odskoku [4]

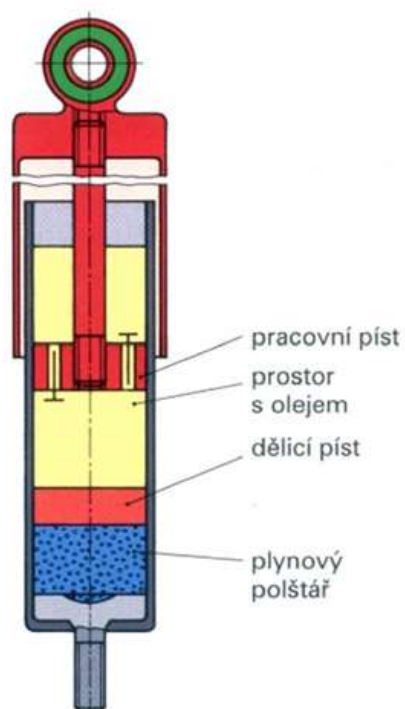
2.1.3 JEDNOPLÁŠŤOVÝ PLYNOKVAPALINOVÝ TLMIČ

Konštrukcia pozostáva len z jedného plášťa, nepočítajúc ochranný obal. V spodnej časti tlmiča sa nachádza komora so stlačeným plynom (dusíkom) o tlaku 1 až 2 MPa. Medzi pracovným médiom (olejom) a dusíkom sa nachádza tzv. plávajúci alebo deliaci piest. Zvýšením tlaku plynu vo východiskovom stave je zabránené jeho priveľkému poklesu. Dôvodom vyššieho pretlakovania oleja v tlmiči je zabránenie, resp. oddialenie pôsobenia kavitácie.

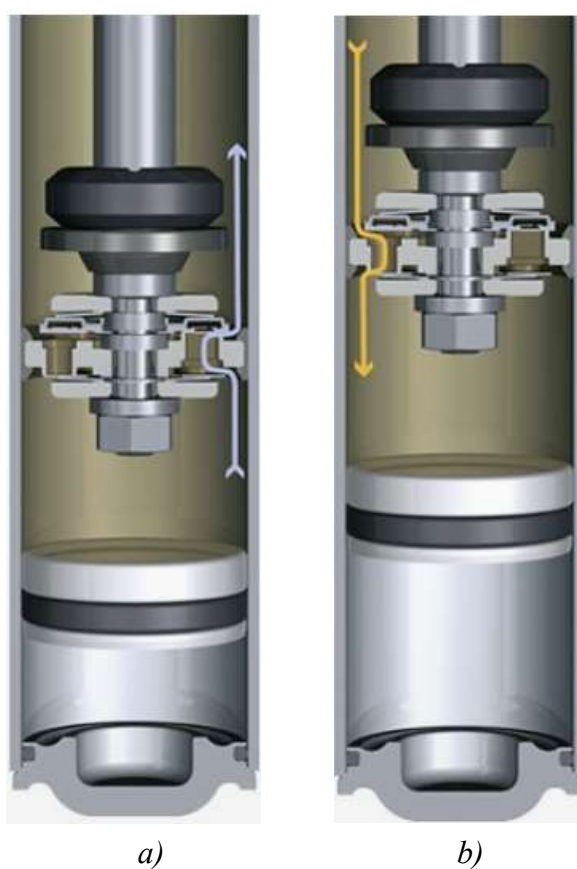
Pri prudkom lokálnom poklese tlaku v kvapaline vznikajú dutiny (kavity), do ktorých difundujú pary okolitej tekutiny. Tieto bubliny pary menia fyzikálne vlastnosti kvapaliny spolu s veľkosťou tlmiacej sily. Kavitácia zároveň spôsobuje narušovanie povrchu materiálu a jeho poškodenie.

Jednoplášťový tlmič má lepšie predpoklady pre chladenie a na rozdiel od dvojplášťového tlmiča môže byť orientovaný v akejkoľvek pozícii. Jeho nevýhodou je väčšia dĺžka a vyššia cena.

Konštrukcie vyššie spomenutých typov tlmičov tvoria základ pre mnohé ďalšie vylepšenia a modely. Princíp tlmenia je rovnaký alebo podobný, no firmy vyvíjajú stále nové spôsoby zlepšenia [2], [4], [5], [6], [7].



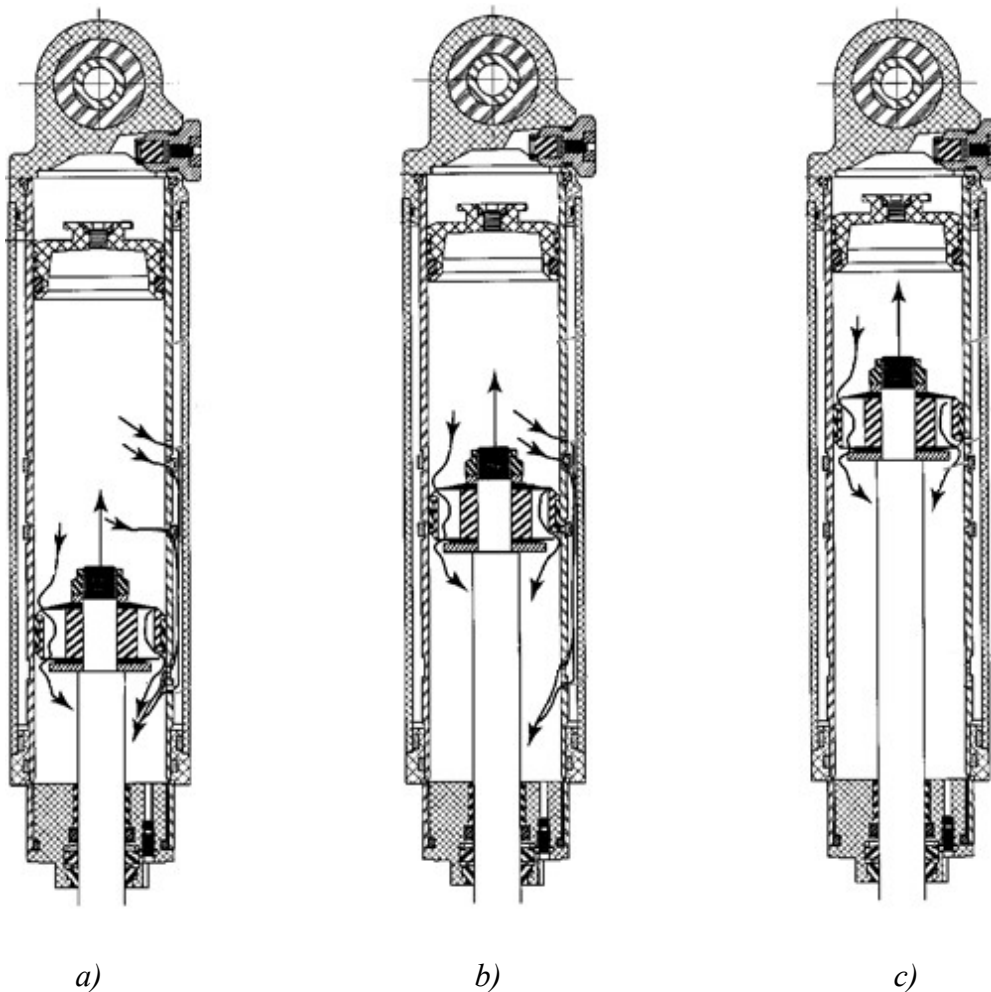
Obr. 7 Prierez jednoplášťovým tlmičom [5]



Obr. 8 Tok oleja v jednoplášťovom tlmiči pri a) kompresii, b) odskoku [4]

2.1.4 POSITION-SENSITIVE DAMPER (PSD)

Position-Sensitive Damper, v preklade polohovo citlivý tlmič, pracuje na princípe pasívnej regulácie tlmenia. V jeho strednej časti sa nachádza obtokový kanál. Pokiaľ je vozovka hladká, piest tlmiča sa pohybuje len v tejto oblasti a olej prúdi skrz ventily a zároveň cez obtokové drážky. Pri prejazde cez menšie nerovnosti sa tým zabezpečuje nižší tlmiači účinok a zlepšený komfort posádky. Akonáhle sa automobil dostane na cestu s citeľnejšími nerovnosťami, prípadne do terénu, piest prekročí medznú polohu, kedy sa zamedzí toku oleja cez obtokové kanáliky a tlmiača sila sa zväčší. Výhodou tohto typu tlmiča je jeho zameniteľnosť za klasický tlmič, pričom sa zvýši komfort jazdy bez zníženia jej bezpečnosti. Je to ekonomické riešenie, ktoré poskytuje možnosť pasívnej regulácie bez potreby použitia elektrických ovládacích prvkov [2], [7], [8].

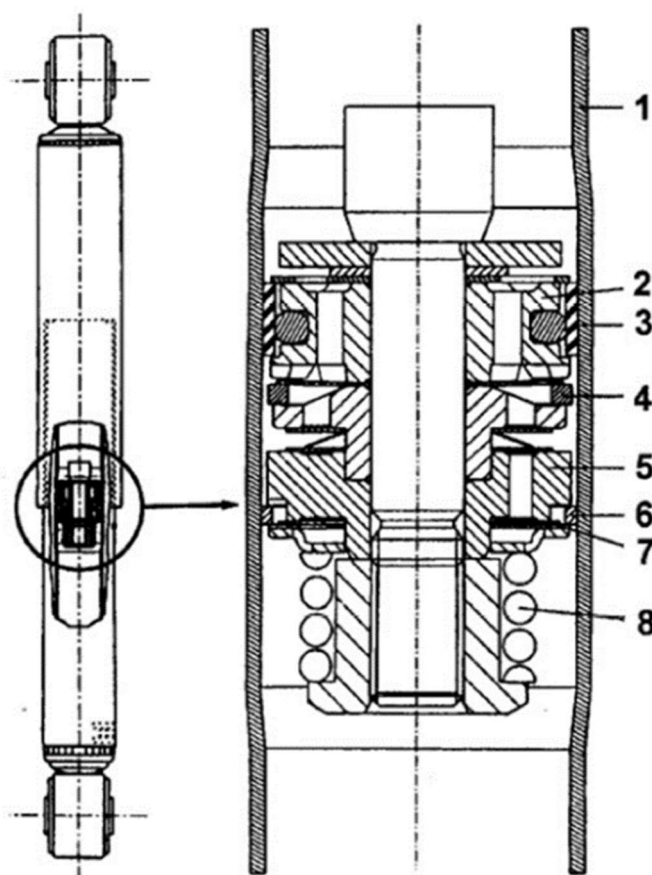


Obr. 9 Prierez PSD tlmičom, šípkami je znázornený prietok oleja otvormi pri kompresii [8]

a) prietok cez obtokové drážky a ventily, b) piest sa približuje k medznému bodu obtoku cez drážky, c) tok oleja je možný len cez ventily

2.1.5 DISPLACEMENT CONSCIOUS DAMPER (DCD)

Na podobnom pasívnom princípe regulácie ako PSD funguje aj Displacement Conscious Damper, čo doslovne znamená tlmič vedomý si posuvu, avšak namiesto obtokového kanálu má rozšírený plášť v stredovej časti. Kľúčovou súčasťou DCD tlmiča je pružný tesniaci krúžok, ktorý má dve základné funkcie: Tesnenie piestu pri rôznych priemeroch valca a zároveň plní úlohu správneho vedenia piestu vo valci (použitie obyčajného piestu by malo za následok vôľu medzi ním a plášťom tlmiča). Účinnosť piestu je v jeho stredovej polohe menšia, nakoľko je zabezpečený zvýšený prietok oleja. Pri prejazde väčšími nerovnosťami sa piest tlmiča dostane zo širšieho priemeru do užšej časti, ktorá neumožňuje olejový prietok v tak veľkom množstve a tlmiaci účinok sa zväčší [1], [2].



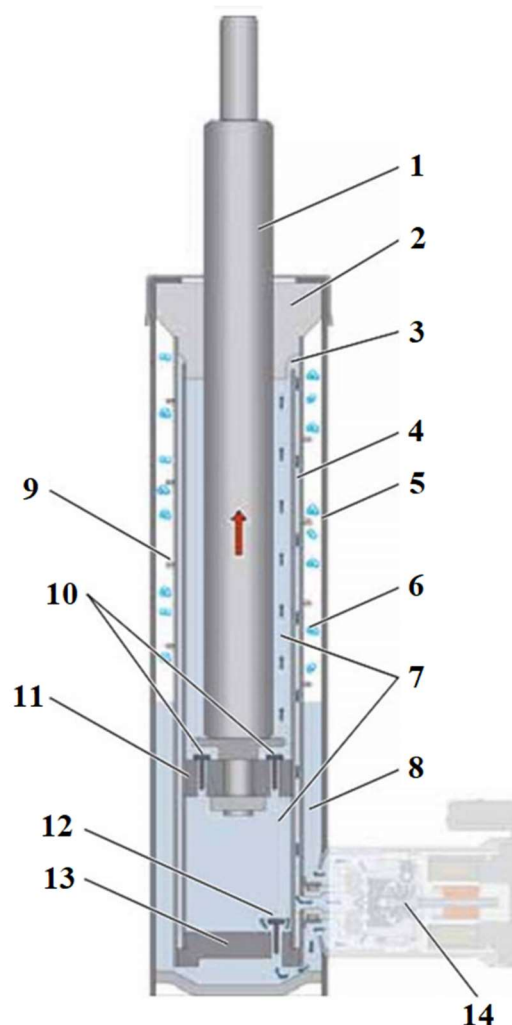
Obr. 10 Prierez DCD tlmičom [1]

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

2.1.6 ADAPTÍVNE TLMIČE

Možnosť regulácie tlmenia za jazdy je moderný prvok, ktorý prispôsobuje nastavenie správania vozidla bez potreby mechanického zásahu do tlmiacej sústavy. Funguje to vďaka práci elektromagnetického regulátora, ktorý na pokyn riadiacej jednotky zvýši, resp. zníži priepustnosť tlmiacej kvapaliny. Riadiaca jednotka získava údaje zo snímačov zabudovaných v rôznych častiach podvozka, snímajúcich jeho parametre – výška, zrýchlenie, preklz pneumatík a podobne. V zásade existujú dve podskupiny elektromagneticky regulovateľných tlmičov, a to:

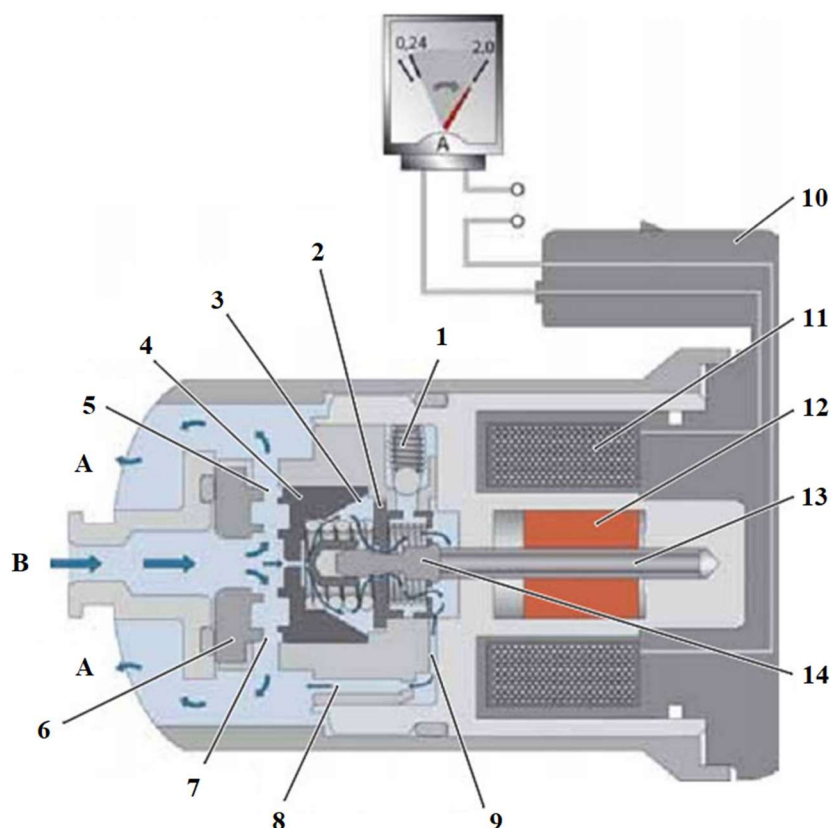
- elektronicky riadené tlmiče
- magnetoreologicky riadené tlmiče



Obr. 11 Systém DCC od Volkswagenu pri odskoku [9]

1 – piestnica, 2 – tesnenie, 3 – prietok oleja do prstencového kanála,
 4 – prstencový kanál, 5 – plášť, 6 – plynová náplň, 7 – hlavná komora,
 8 – vyrovnávací komora, 9 – špirála zabraňujúca peneniu oleja, 10 – ventily
 piestu, 11 – piest, 12 – ventil základne, 13 – základňa, 14 – el. regulačný ventil

Azda najznámejším variantom elektricky riadeného tlmiča je systém Dynamic Chassis Control (DCC) od koncernu Volkswagen (obr. 11). Vodič má možnosť voľby nastavenia charakteristiky odpruženia podvozku pomocou voliča na prístrojovej doske. Sú k dispozícii 3 jazdné režimy – Comfort, Normal a Sport, ktoré okrem tlmiaceho účinku prispôbia aj odozvu riadenia, či reakciu pri zošliapnutí plynového pedálu. Na základe údajov, ktoré dostáva riadiaca jednotka od snímačov zdvihu kolies a zrýchlenia karosérie, sa pomocou elektromagnetického ventilu reguluje prietok kvapaliny v tlmiči. Tento ventil sa nachádza v puzdre v spodnej časti a je orientovaný kolmo na jeho plášť. Zvyšovaním prúdu prechádzajúceho regulačným ventilom sa zvyšuje účinnosť tlmenia [9], [10].

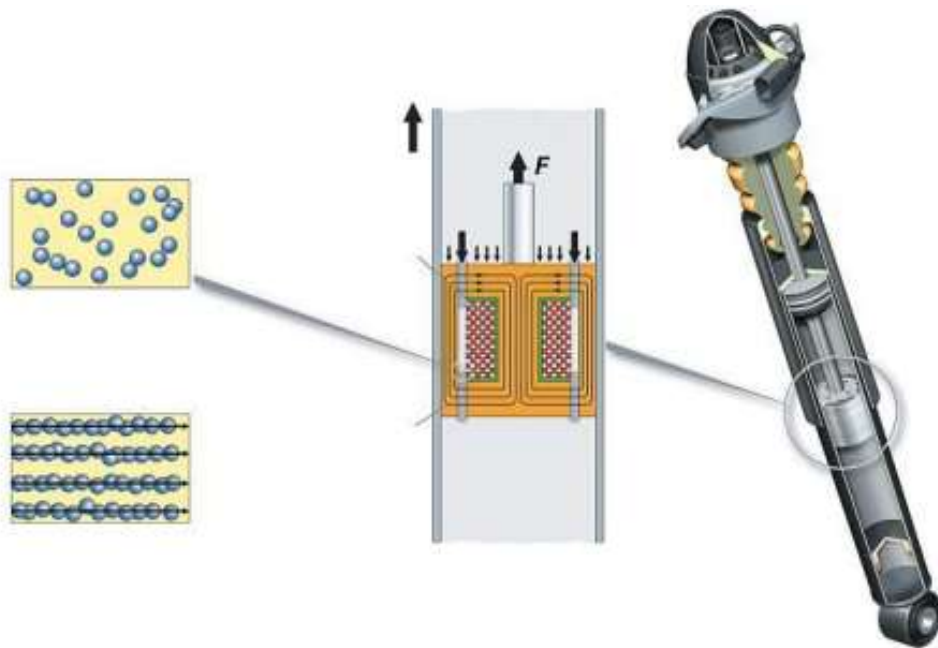


Obr. 12 Elektricky ovládaný regulačný ventil DCC systému [9]

- 1 – bezpečnostný ventil, 2 – regulačná platnička, 3 – vnútorný objem oleja,
 4 – hlavný piest, 5, 7 – spätné kanály, 6 – prítlačný kotúč,
 8 – riadiaci kanál, 9 – štrbina regulačného ventilu, 10 – elektrický konektor,
 11 – cievka, 12 – kotva (elektrotech.), 13 – základňa, 14 – piestová tyč

A – odtok oleja do tlmiča, B – prítok oleja z tlmiča

Magnetoreologický tlmič využíva špeciálnu kvapalinu, často syntetický olej, v ktorom sú rozptýlené mikročastice schopné magnetizácie. Po vytvorení magnetického poľa pomocou elektrického prúdu sa tieto malé čiastočky zoskupia do reťazca a v danom mieste zmenia viskozitu tekutiny, čím sa kladie jej prietoku väčší odpor (vid' obr. 13). So zvyšujúcim odporom rastie tlmíaca sila [11].



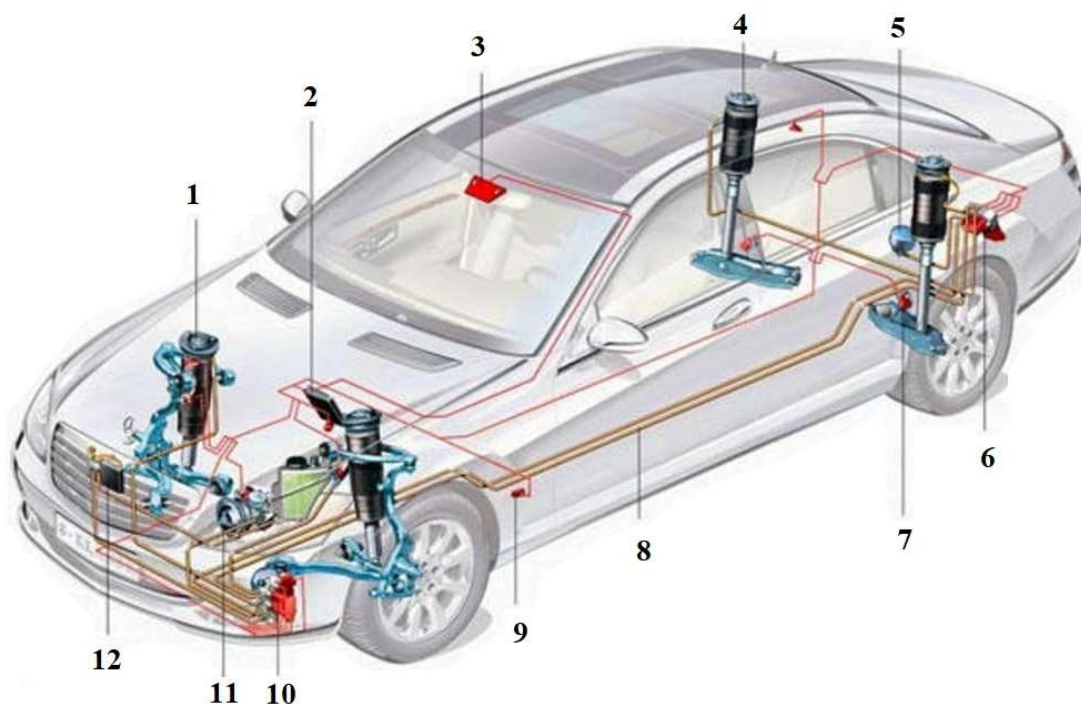
Obr. 13 Magnetoreologický tlmič (Audi TT) [11]

Osobitným typom regulovateľných tlmičov sú ručne nastaviteľné tlmiče. Nastavenie tlmiacej sily je možné dvoma spôsobmi. Buď demontážou celého tlmiča a zmenou predpätia pružiny otáčaním jej konca na závite alebo zmenou veľkosti prietokového otvoru ventilu, prípadne nastavenia citlivosti ventilu a pod. Zásobník vyrovnávacieho priestoru je umiestnený mimo pracovného plášťa tlmiča a je k nemu pripojený kanálom alebo hadicou. Tento typ tlmičov sa v bežných osobných automobiloch nepoužíva, no svoje zastúpenie má v športových autách, motorkách, štvorkolkách či zjazdových bicykloch. Pred každým pretekom je možné tlmiče nastaviť optimálne na danú trať a v tejto konfigurácii fungujú po celý priebeh závodu. Elektronicky ovládané tlmiče sú v motoristických disciplínach väčšinou zakázané, čo je spolu so zložitosťou a cenou tohoto systému dôvodom používania ručne nastaviteľných tlmičov [2], [12].



Obr. 14 Ručne nastaviteľný zadný tlmič pre motocykel Honda CRF300 RALLY [13]

2.1.7 AKTÍVNE PODVOZKY



Obr. 15 Systém ABC [14]

1,4 – pružiacia jednotka (pružina + tlmič), 2 – riadiaca jednotka, 3 – skenovacia kamera, 5 – zásobník oleja, 6 – blok ventilov zadnej nápravy, 7 – senzor výšky vozidla nad vozovkou, 8 – hadice hydrauliky, 9 – akcelerometer, 10 – blok ventilov prednej nápravy + zásobník oleja, 11 – olejové čerpadlo, 12 – chladič oleja systému ABC

V roku 1999 koncern Mercedes-Benz uviedol na trh plne automatické zavesenie Active Body Control (ABC). Systém udržiava konštantnú svetlú výšku ako v zákrutách, tak aj pri zrýchlení a brzdení. Riadiaca jednotka vyhodnocuje údaje zbierané pomocou mnohých senzorov umiestnených na vozidle (napr. akcelerometre, senzor svetlej výšky, či kamera) a aktívne prispôsobuje tuhosť tlmičov ku danému charakteru vozovky. Deje sa tak pomocou hydraulicky ovládaných ventilov, cez ktoré je vysokotlakovým čerpadlom pumpovaný olej z hydraulického okruhu. ABC taktiež reguluje a prispôsobuje svetlú výšku vozidla za účelom zníženia spotreby paliva pri vyšších rýchlostiach [14].

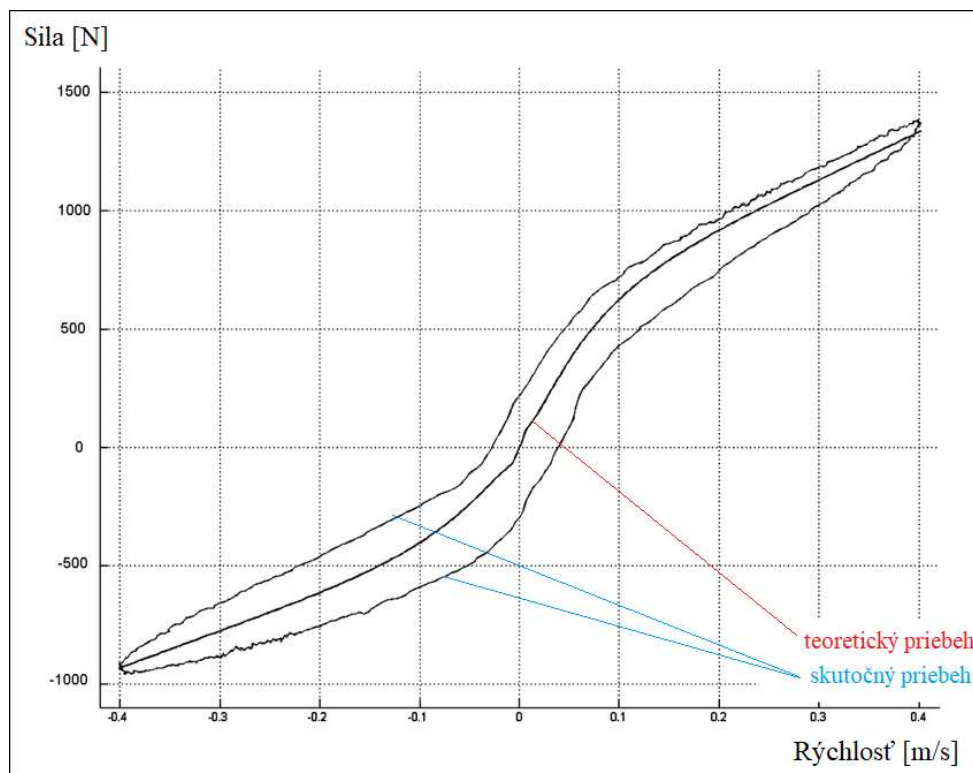
Systém aktívnej regulácie podvozku je určený najmä pre najvyššiu triedu značky (S-Class). V roku 2013 bol vylepšený osadením dvoch nových skenovacích kamier, ktoré zabezpečujú kvalitnejšie vyhodnotenie povrchu vozovky pred vozidlom a riadiaca jednotka na základe toho prednastaví tlmiaci účinok pre každé koleso zvlášť. Upravený systém, ktorého výpočtová sila bola časom zvýšená osadením výkonnejšej riadiacej jednotky, dostal názov Magic Body Control.

2.2 SILOVÉ CHARAKTERISTIKY TLMIČA

Priebeh sily pri stláčaní a roztáhovaní tlmiča je daný jeho silovou charakteristikou. Medzi základné merané závislosti tlmiča patria:

- rýchlostná charakteristika (F-v charakteristika)
- zdvihová charakteristika (F-z charakteristika)

2.2.1 RÝCHLOSTNÁ CHARAKTERISTIKA

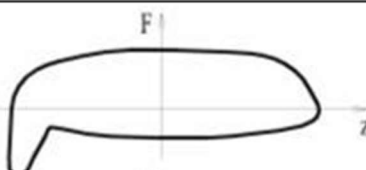
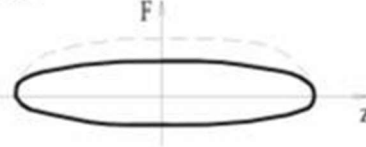

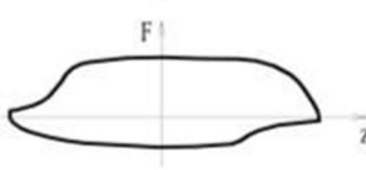
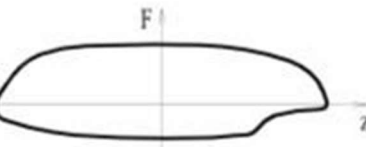
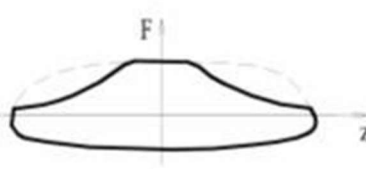


Obr. 16 F-v charakteristika [15]

Rýchlostná (F-v) charakteristika vyjadruje závislosť tlmiacej sily na rýchlosti piestu tlmiča. Na obrázku je znázornená rýchlostná charakteristika jednoplášťového tlmiča. Kladná sila reprezentuje ťah, záporná tlak. Tlmič je rozpochybovaný mechanizmom, ktorý má sínusový priebeh. Pri teoretickom priebehu by bola F-v charakteristika vyjadrená pomocou jednej krivky, avšak pri skutočnom priebehu tlmič vykazuje hysteréziu. Tento jav je závislý na zrýchlení – nárast tlmiacej sily môže byť oneskorený alebo väčší, ako je v ustálenej rýchlosti. Hysterézia je ovplyvnená stlačiteľnosťou kvapaliny, zmenou tlaku plynu v zásobníku či deformáciou častí tlmiča. Priebeh hysterézie je možné zmeniť použitím iného typu piestu, zmenou polohy škrtiacej ihly alebo zmenou nastavenia pre pomalé (Low-Speed) alebo rýchle (High-Speed) tľmenie [2], [7], [15], [16].

2.2.2 ZDVIHOVÁ CHARAKTERISTIKA

Zdvihová (F-z) charakteristika vyjadruje závislosť tlmiacej sily na polohe piestu tlmiča a posudzuje funkciu tlmiča počas zdvíhu. Je účinná pri rozpoznávaní porúch tlmičov.

F-z charakteristika tlmiča	Popis poruchy
	Silový nárast na konci tlačného zdvíhu: - zvýšené množstvo oleja v tlmiči - potreba úpravy množstva náplne
	Silový účinok znížený v ťažnom zdvíhu: - netesnosť tlačného ventilu - zväčšená vôľa medzi piestom a pracovným valcom tlmiča
	Silový účinok znížený v tlačnom zdvíhu: - netesnosť ťažného ventilu (poškodenie / nečistoty v oleji)
	Silový pokles na začiatku ťažného aj tlačného zdvíhu: - zavzdušnenie priestoru pod piestom (málo oleja) - možný únik oleja spôsobený opotrebením
	Silový pokles na začiatku tlačného zdvíhu: - spenenie tlmičového oleja
	Silový pokles na začiatku a konci ťažného zdvíhu: - vplyv pasívnych odporov

Obr. 17 F-z charakteristika [17]

Obe charakteristiky - rýchlostná aj zdvihovú - sú získavané experimentálne na dynamometroch pomocou rozkmitania tlmiča a merania jeho reakčnej sily. Zmenou rýchlosti piestu tlmiča sú nadobudnuté osobitné body charakteristik [2], [16], [17].

3 METÓDY MERANIA SILY NA TLMIČI

V záujme kontroly správnej funkcie tlmiča automobilu sa realizujú jeho skúšky. Zhoršenie jazdného pohodlia, rýchle opotrebovanie pneumatík, nadmerné kmitanie karosérie, či dlhšia brzdná dráha sú znaky vykazované opotrebením alebo poruchou tohto kľúčového prvku podvozku. Okrem kontroly už namontovaných tlmičov sú vykonávané počiatkové testy nových typov a modelov za účelom zistenia ich presných charakteristík. Diagnostiku je možné vykonať dvoma spôsobmi:

- meranie demontovaného tlmiča
- meranie tlmiča priamo na vozidle (bezdemontážové)

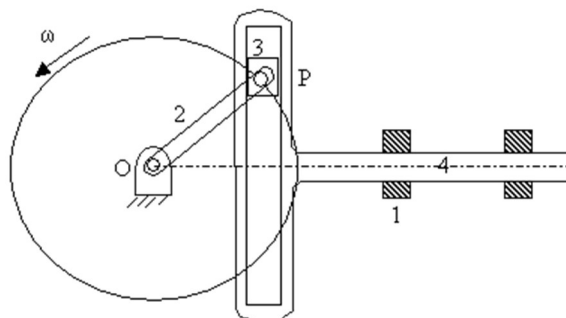
Väčšina kontrol tlmičov v servisoch je robených priamo na vozidle. Spomínané počiatkové testy a ďalšie vývojové testy sa však takmer výlučne vykonávajú na tzv. skúšobných stavoch, teda na zariadeniach, ktoré testujú len samotný tlmič [2], [16], [18].

3.1 MERANIE CHARAKTERISTÍK DEMONTOVANÝCH TLMIČOV

Hlavnou výhodou testovania charakteristík demontovaného tlmiča je presnosť takéhoto merania. Nie je ovplyvňovaný zvyšnými časťami zavesenia, ako sú napr. pružina či stabilizátor, a preto je možné dosiahnuť veľmi presných výsledkov. Nevýhodou tejto metódy je jej časová náročnosť. Služi hlavne na výskumné účely vo vývojových centrách. Meranie prebieha na meracích zariadeniach – špeciálnych dynamometroch [2], [16], [18].

Druhy dynamometrov:

- mechanický
- lineárny (hydraulický, elektromagnetický)



Obr. 18 Kulisový mechanizmus [19]

3.1.1 MECHANICKÝ DYNAMOMETER

Najstarší typ meracieho zariadenia je kľukový mechanický dynamometer. Elektromotorom poháňaný hriadeľ vykonáva rotačný pohyb a za pomoci kľuky je tento pohyb premieňaný na pohyb translačný, po zvislej osi. Princíp mechanizmu odpovedá tomu v priestore spaľovacieho motoru, kde sa rotačný pohyb kľukového hriadeľa prenáša na ojnicu a piest. V prípade mechanického dynamometru sa namiesto piestu na vrchnú časť ojnice namontujú tzv. vodiace sane, ktoré zabezpečujú dve funkcie: Správne vedenie translačného pohybu v priamom smere a zároveň slúžia ako bod upevnenia dolného konca tlmiča do konštrukcie dynamometru. Na druhom konci je tlmič prichytený ku snímaču sily. Rozsah a rýchlosť pohybu tlmiča je možné ovplyvniť zmenou polomeru kľuky alebo otáčok elektromotoru. Polomer kľuky je menený pomocou upevnenia ojnice do jednej z predvrtaných dier na kľukovom hriadeľi (viď obr. 19).

Druhým typom mechanického dynamometru je systém s pohonom kulisového mechanizmu (obr. 18). Princíp zariadenia, ktorý bol pôvodne vynájdený pre používanie na pumpovanie vody za pomoci parného pohonu, je využívané na tvorbu sínusového pohybu v dynamometroch. Dĺžka zdvihu (posuvu) sa dá ľahko zmeniť posunutím kľukového čapu. Oproti kľukovému mechanizmu je výhodnejší z hľadiska presnejšieho vedenia pohybu. Nevýhodou sú vyššie straty pri kontakte čapu a drážky [2], [16], [18], [20].



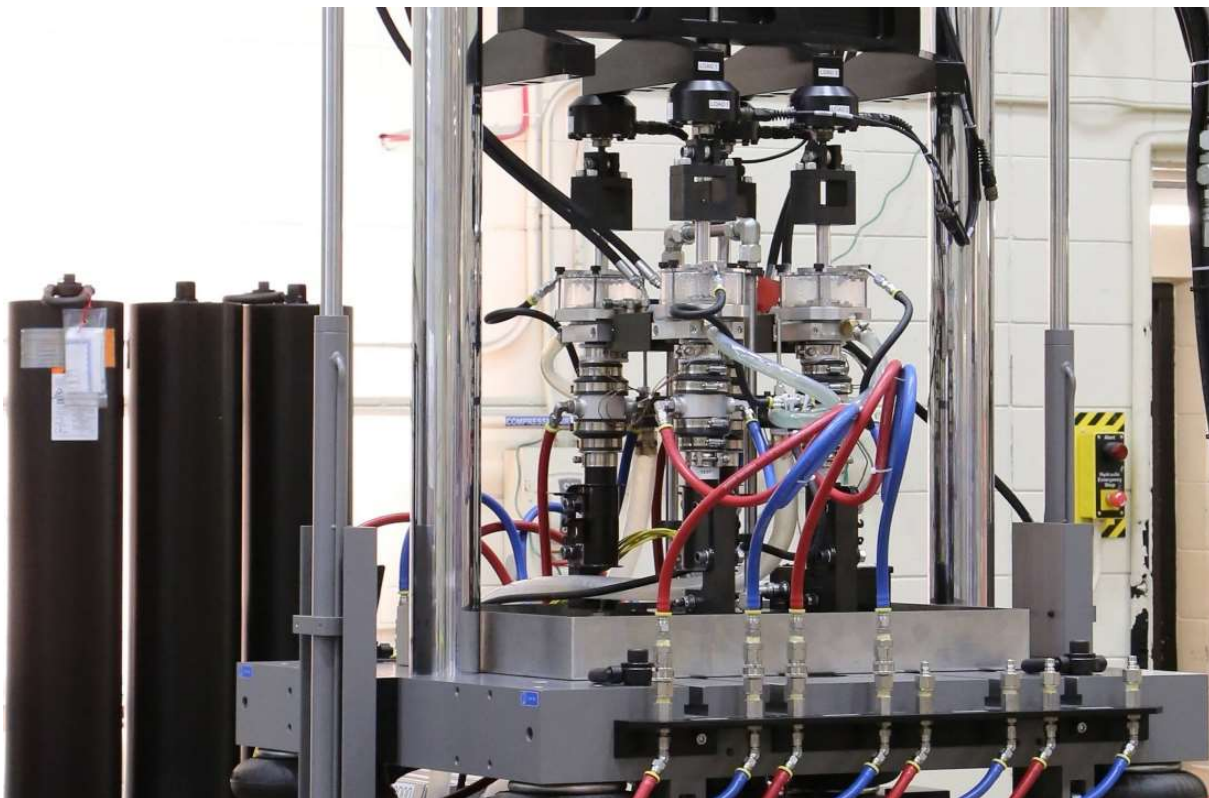
Obr. 19 Kľukový mechanický dynamometer [20]

3.1.2 HYDRAULICKÝ DYNAMOMETER

Konštrukciou je podobný mechanickému dynamometru, avšak jeho pohon je zaistený pomocou kvapaliny poháňanou čerpadlom v hydraulickom okruhu a zdvih je ovládaný použitím akčného členu v podobe hydrostatického ložiska spolu s kombináciou servoventilov. Výrobcovia ponúkajú rôzne veľkosti modelov, a to od menších prenosných zariadení až po ťažké, vysokovýkonné, s možnosťou ťahu o sile niekoľkých desiatok kilonewtonov.

Hlavným prínosom použitia tohto mechanizmu je veľký rozsah zaťažovacích síl, ktorý umožňuje testovať tlmiče od bežných, komerčne využívaných v osobných automobiloch, cez tlmiče využívané v motoršporte až po tie, ktoré sú aplikované v najnáročnejšom prostredí – na armádnych vozidlách, či vlakoch. Medzi výhody patrí voľba ľubovoľného záťažového cyklu, ktorý dokáže simulovať rôzne režimy jazdy a rôzne podmienky, či možnosť testovania tlmiča v rôznych polohách naklonenia, simulujúc tak správnu pozíciu po inštalácii na vozidlo. Hydraulické dynamometre sú tiež používané ako skúšobné zariadenie pre testovanie životnosti tlmičov. Moderné hydraulické dynamometre umožňujú testovať až niekoľko kusov tlmičov naraz, čím zlepšujú efektívnosť najmä pri dlhotrvajúcich testoch životnosti.

Najväčšími nevýhodami tohto zariadenia, skrz jeho technologickú vyspelosť, sú cena a jeho priestorová náročnosť. Pri výkonných dynamometroch je za potreby veľkého čerpadla a elektromotora pre dosiahnutie veľkých prietokov oleja v okruhu [16], [21].



Obr. 20 Testovanie viacerých tlmičov naraz na hydraulickom dynamometri (Multistation Damper Test Machine) [21]

3.1.3 ELEKTROMAGNETICKÝ DYNAMOMETER

Pre potreby motoršportu – mať prenosné univerzálne zariadenie na testovanie športových tlmičov a ich charakteristík – bola vyvinutá technológia s elektromagnetickým akčným členom (EMA). Tento typ akčného člena premieňa elektrickú energiu na mechanickú, čím vytvára silu, resp. krútiaci moment pomocou magnetického poľa. Tento druh dynamometru funguje tichšie, ekonomickejšie a ekologickejšie. EMA systémy dokážu pracovať pri vysokom výkone, tie výkonnejšie bývajú chladené vzduchom, aby sa zabránilo ich prehrievaniu. Absencia potreby zložitej konštrukcie mechanizmu a jeho rýchle a jednoduché nastavenie, spolu s jednoduchšou údržbou a menšími nákladmi na prevádzku, v porovnaní s hydraulickým alebo mechanickým dynamometrom, z neho robia ideálnu voľbu pre súčasné využitie v priemysle a výskume [21], [22].



Obr. 21 Kompaktnejší dynamometer EMA 2K od firmy MTS Roehrig, schopný vyvinúť silu 8,9 kN [21]

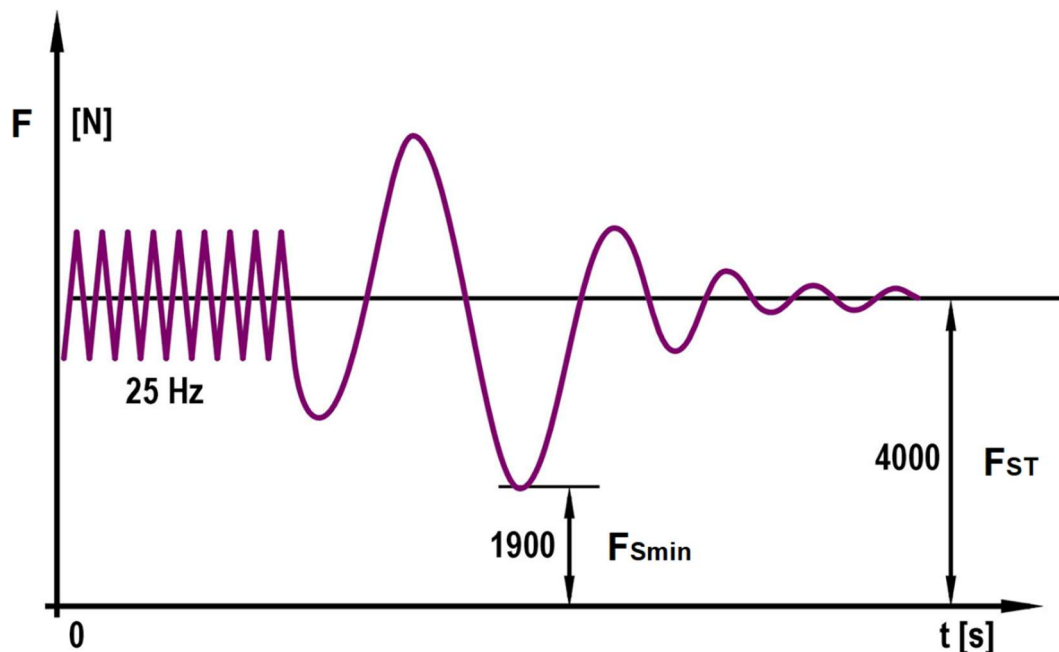
3.2 BEZDEMONTÁŽOVÉ MERANIE CHARAKTERISTÍK TLMIČOV

Týmto jednoduchým spôsobom testovania tlmičov je možné rýchlo odhaliť ich eventuálnu chybu alebo poruchu. Kompromitujúcim faktorom tohto druhu testovania je jeho presnosť. Vplyv ostatných prvkov odpruženia a zavesenia na testy môže negatívne ovplyvniť výsledok testu a teda zdanlivo sa môže skrývať porucha inej časti podvozku za chybný tlmič. Táto metóda preto nie je vhodná pri podrobnej charakteristike tlmičov, no pre potreby bezpečnosti a zistenie funkčnosti je úplne dostačujúca. Výsledné veličiny namerané počas testovania sa vyhodnocujú buď pomocou porovnávacieho kritéria, kedy sa porovnajú namerané hodnoty so známymi databázovými, alebo pomocou kritéria EUSAMA (z ang. European Shock Absorber Manufacturer Association), kde sa zrovnáva statická a minimálna prítlačná sila kolesa na podložku. Všeobecne sa testy tlmičov na vozidle delia na tri základné skupiny, podľa spôsobu rozkmitania vozidla a sledovanej hodnoty kmitov, a to [16], [18], [23]:

- rezonančná adhézna metóda
- rezonančná amplitúdová metóda
- impulzná dokmitová metóda

3.2.1 REZONANČNÁ ADHÉZNA METÓDA

Systém, ktorý vznikol zjednotením metodiky testovania tlmičov podľa špecifikácie EUSAMA, je v súčasnosti najviac používaným spôsobom merania charakteristík tlmičov bez potreby jeho demontáže z vozidla. Kolesá sú separátne podrobené testovaniu, ktoré má čo najvernejšie simulovať odozvu vozovky v reálnej prevádzke. Koleso stojace na meracej plošine je rozkmitané zvislými kmitmi o amplitúde 6 mm a frekvencii 25 Hz. Následne, po odpojení hnacieho mechanizmu klesá frekvencia kmitov cez vlastnú frekvenciu neodpruženej hmoty do nuly.



Obr. 22 Závislosť prítlačnej sily na čase a znázornenie minimálnej a statickej prítlačnej sily v grafe [24]

Rezonančná frekvencia neodpružených hmôt osobného automobilu nadobúda hodnôt približne v rozsahu od 10 do 20 Hz, v závislosti od ich konštrukčných charakteristík. Sledovanou veličinou je minimálna prítláčna sila kolesa na plošinu (F_{Smin}) a výsledkom testu je percentuálne vyjadrenie pomeru tejto sily a statickej prítláčnej sily kolesa na plošinu (F_{ST}). Tieto sily sú merané pomocou tenzometrických snímačov nachádzajúcich sa pod meracou doskou zariadenia. Závislosť je popísaná nasledovnou rovnicou [24]:

$$EUS = (F_{Smin}/F_{ST}) * 100 [\%] \quad (3)$$

Adhézna rezonančná metóda teda, zjednodušene, posudzuje schopnosť pneumatiky zostať v kontakte s povrchom vozovky, čo je dôležitá podmienka bezpečnosti vozidla v premávke. Avšak namiesto hodnotenia minimálnej hodnoty v danom okamihu by bolo vhodnejšie posudzovať strednú kvadratickú odchýlku celého signálu, nakoľko výpovedná hodnota tejto veličiny je väčšia [16], [23], [24], [25], [26].



Obr. 23 Automobil na meracej plošine značky Jevol [26]

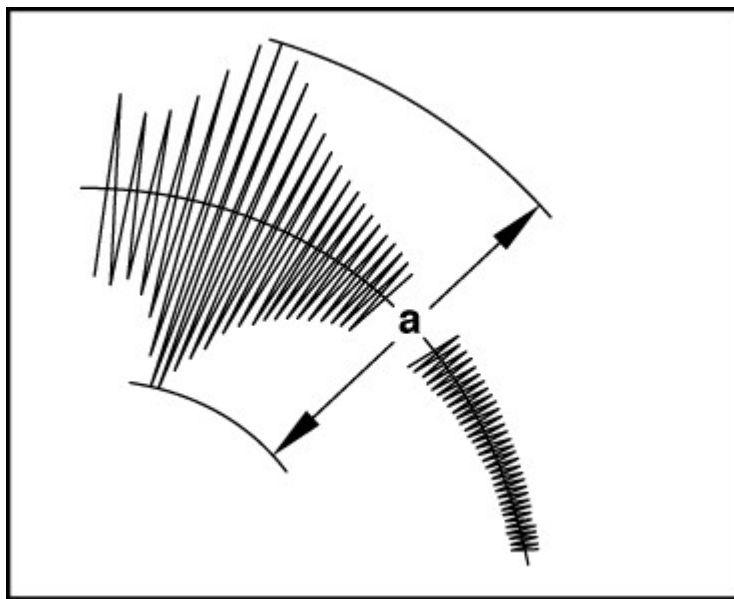
3.2.2 REZONANČNÁ AMPLITÚDOVÁ METÓDA

Podobne ako pri rezonančnej adhéznej metóde sa vozidlo navedie na meraciu plošinu, na ktorej dôjde k vybudeniu kmitov neodpruženej hmoty. Toto vynútené kmitanie sa docieli pomocou mechanizmu poháňaného elektromotorom. Po dosiahnutí požadovanej frekvencie je elektromotor vypnutý a koleso sa nechá dokmitať až do úplného utlmenia. Sledovanou veličinou pri posudzovaní výsledku testu je amplitúda kmitov (obr. 24). Pri prechode neodpruženej hmoty cez pásmo vlastnej frekvencie je zaznamenaná najväčšia odchýlka. Kedysi boli údaje zaznamenávané mechanicky na rotujúci kotúč, v súčasnej dobe digitalizácie je zápis vykonávaný v elektronickej podobe do počítača. Výsledná hodnota maximálnej amplitúdy je porovnávaná s tabuľkovými hodnotami uvádzanými výrobcom a následne je vyhodnotený výsledok testu. Na rozdiel od rezonančnej adhéznej metódy výsledky nezobrazujú viaceré stupne hodnotenia testu, ale iba dva – “uspokojivý“ a “neuspokojivý“. Testery tohto typu vyvíjali predovšetkým traja výrobcovia - Boge, Sachs a Maha.

Vhodnosť použitia tohto druhu testovania je diskutabilná, nakoľko nie sú dôveryhodne simulované skutočné podmienky, ktoré bežné automobily dosahujú v prevádzke [27], [28].

Tab. 1 Hodnotiace kritériá výsledkov amplitúdy kmitov pre modely Audi S3/RS3 [28]

Náprava	Tlmiaci účinok	
	Neuspokojivý	Uspokojivý
Predná náprava	$a > 49$	$a < 49$
Zadná náprava	$a > 50$	$a < 50$



Obr. 24 Amplitúda kmitov je porovnávaná s tabuľkovou hodnotou [28]

3.2.3 IMPULZNÁ DOKMITOVÁ METÓDA

Na rozdiel od predchádzajúcich dvoch metód, kde zástavba testovacích zariadení vyžaduje v garáži vlastné stanovište, je meracie zariadenie impulznej dokmitovej metódy obzvlášť skladné, čo patrí spolu s jednoduchou obsluhou a finančnou nenáročnosťou medzi jeho najväčšie výhody. Princíp metódy spočíva v rozhojdaní karosérie a následnom meraní pomerného útlmu odpruženej hmoty pomocou snímača. Niektoré testery pre vertikálne rozpochybovanie karosérie vyžadujú zabrzdzenie vozidla z určitej rýchlosti na meracej podložke, iné využívajú mechanické rozhojdanie rukou osoby obsluhujúcej zariadenie, či prechod určitou rýchlosťou cez retardér. Výsledné hodnoty získané z testu sú porovnávané s databázovými hodnotami a následne vyhodnocované. Celý test je časovo nenáročný a meranie spolu s vyhodnotením trvá pár minút.

Na obr. 25 je zobrazený postup merania pomocou mobilného zariadenia od renomovanej značky Monroe, ktorá sa radí v súčasnej dobe medzi popredných výrobcov tlmičov. Do skúšobného prístroja sa pred začatím testu navolia požadované parametre – číslo registrácie vozidla, nastavenie podvozku (mäkké, normálne, športové) a výber strany a nápravy, na ktorej sa aktuálne vykonáva meranie. Následne sa tester umiestni na vhodné miesto karosérie alebo

blatníka priamo nad tlmič. Upevnenie je riešené pomocou gumových prísaviek. Takto pripravené vozidlo na test je uvedené vodičom do pohybu a nasmerované na retardéry, ktorými je potrebné prejsť rýchlosťou 5 až 7 km/h na voľnobehu a následným pozvoľným brzdením je zastavené. Retardéry poskytnuté výrobcom sú umiestnené v jednej línii a auto nimi prechádza oboma kolesami nápravy naraz. Výsledky testu sú zobrazené na displeji a môžu byť v prípade potreby nahraté do počítača pre detailnejšie preskúmanie [27], [29].



Obr. 25 Test tlmiča pomocou testovacieho zariadenia od firmy Monroe [29]

3.2.4 FOUR-POST TEST RIG

Four-post test rig, v preklade testovacie zariadenie na štyroch podporách, je meracia sústava využívaná na vybudenie vertikálneho pohybu všetkých kolies vozidla za účelom zistenia dynamických charakteristík odpruženia. Vozidlo je umiestnené na štyri podstavce - hydraulické akčné členy, ktoré vykonávajú opakovaný vertikálny pohyb a simulujú nerovnosti vozovky. Systém dokáže generovať signály v rôznych frekvenčných pásmach, čo umožňuje sledovať správanie vozidla v predpokladanom prevádzkovom rozsahu. Spravidla je možné na tomto testovacom zariadení vytvoriť špecifické typy profilov, ako napríklad prejazdy cez obrubníky, retardéry, či výtlky. Jednotlivé meracie plošiny sú pevne spojené so seizmickou základňou, kvôli zabráneniu prenosu vibrácií na budovu, v ktorej je zariadenie umiestnené. Tieto podstavce sú nastaviteľné v pozdĺžnom aj priečnom smere pre umožnenie testovania vozidiel s rôznymi rázvormi a rozchodmi kolies. Akčné členy sú ovládané pomocou servoventilov a celý systém je napojený na hydraulický okruh s výkonným čerpadlom a elektromotorom. Čerpadlo a elektromotor dosahujú veľkých rozmerov, väčšinou sú umiestnené v separátnej miestnosti kvôli odhlučneniu, chladeniu, prípadne pre lepšiu dostupnosť pri poruche. Prevádzkový tlak kvapaliny v okruhu dosahuje 21 MPa v nepretržitej prevádzke, na určitý čas je možné v okruhu udržať až 40 MPa.

Testovacie zariadenie na štyroch podporách je veľmi užitočný nástroj slúžiaci na ladenie tlmičov vozidiel s nízkym prítlakom a symetrickým zavesením. Je však nemožné verne simulovať správanie vozidla v prevádzke, nakoľko na karosériu nie sú prenášané laterálne a pozdĺžne sily vznikajúce pri prejazde zákrutami (klopenie), pri brzdení a zrýchľovaní vozidla (klonenie), či aerodynamické sily od odporu karosérie, poprípade spojlerov [18], [30], [31].



Obr. 26 Four-post test rig [31]

3.2.5 SEVEN-POST TEST RIG

Testovacie zariadenie na siedmich podporách zahŕňa navyše tri akčné členy, ktoré sú pripevnené zospodu na karosériu a simulujú zotrvačné sily pôsobiace na automobil v zákrutách, pri akcelerácii, či decelerácii. Tieto pokročilé a finančne náročné testovacie zariadenia boli vyvinuté pre potreby motoršportu. Testovaním športového auta generujúceho veľký prítlak (monoposty F1) môže tento systém veľmi dôveryhodne napodobniť prítláčne sily od spojlerov a podlahy, čo umožňuje tímom lepšie pochopenie správania auta skôr, ako sa vydá na závodný okruh. Úspora času pri ladení podvozka a systému odpruženia je pri použití zariadenia na siedmich podporách značná.

Dôležitým meraným parametrom je zaťaženie styčnej plochy, čo je sila, ktorou tlačí pneumatika na plošinu hydraulického stĺpika meracieho zariadenia. Styčná plocha je tá časť pneumatiky, ktorá je v priamom kontakte s vozovkou. Pri pohybe hydraulického stĺpika nahor vzrastie zaťaženie na styčnej ploche, pri pohybe nadol klesne. Čím je rozsah zaťaženia styčnej plochy pri meraní menší, tým lepšiu príľnavosť k vozovke dokáže pneumatika generovať.

Ďalšími pozorovanými parametrami pri testovaní sú odozva odpruženej hmoty (karosérie), klopenie a klonenie. Pri použití symetrického zavesenia je veľká časť pozornosti namierená na ladenie klonenia automobilu, ktorého zmenšením sa znižuje odľahčovanie prednej, resp. zadnej nápravy. Toto vedie k zlepšeniu príľnavosti pneumatík a aerodynamiky, čo prispieva k zdokonaľovaniu ovládania auta na trati [18], [30], [32], [33].



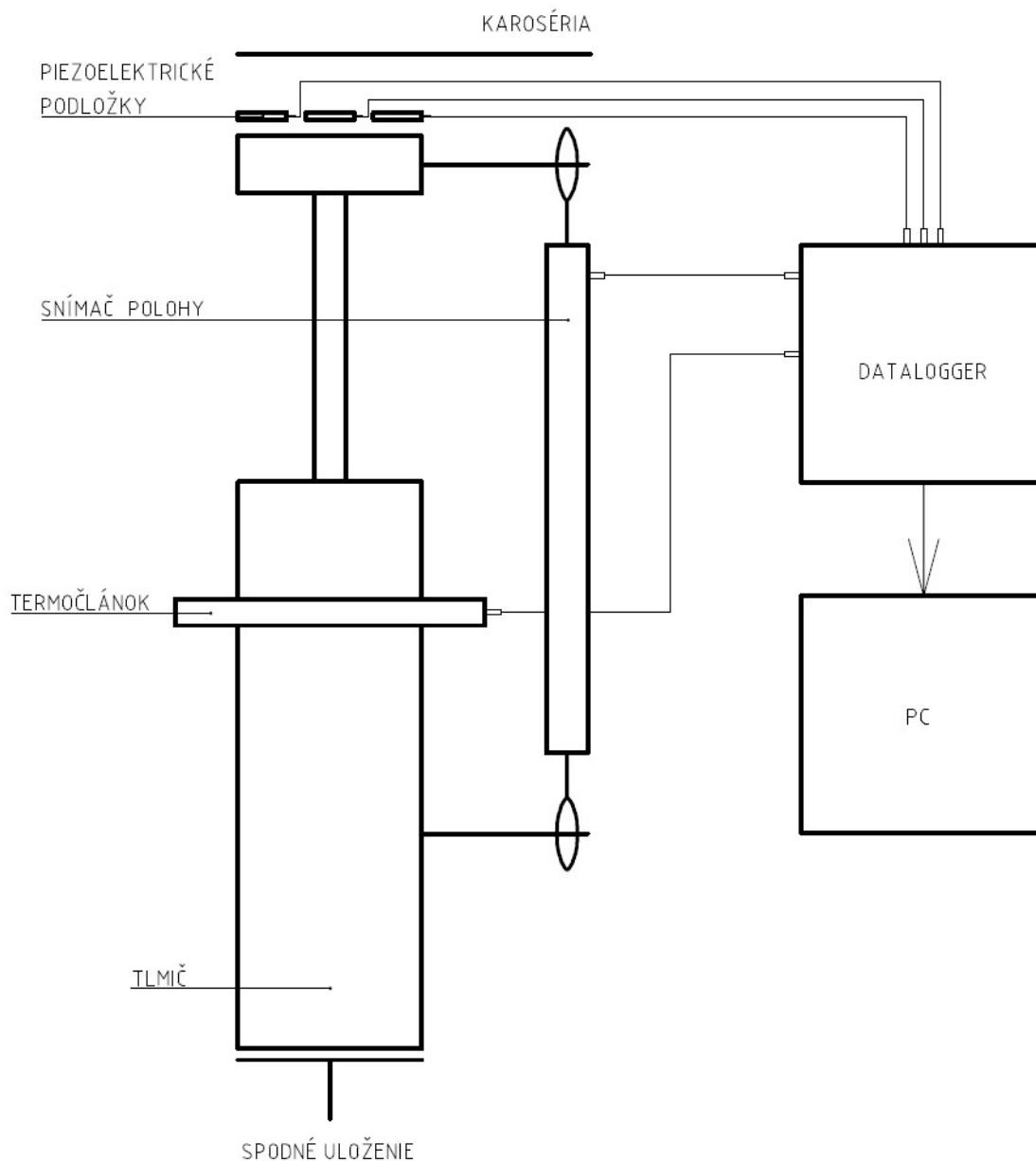
Obr. 27 Monopost F1 z roku 2017, Renault RS17, na 7-bodovom testovacem zariadení [33]



Obr. 28 Seven-post test rig pri pohľade zospodu [30]

4 SCHEMATICKÉ ZOBRAZENIE NÁVRHU

Na obrázku 29 je znázornené schematické zapojenie meracej zostavy zloženej zo snímačov pripojených na tlmič automobilu. Piezoelektrické podložky sú umiestnené medzi karosériou a horným koncom tlmiča, termočlánok je uchytený pomocou kovovej svorky na jeho plášť a snímač polohy je jedným koncom upevnený o neodpruženú a druhým koncom o odpruženú časť automobilu. Výstupné signály zo všetkých senzorov sú pomocou káblov prenesené do záznamníku (dataloggeru (obr. 52)) a následne do počítača, kde sa pomocou vhodného softvéru spracujú a výsledné hodnoty sú vynesené do grafov. Datalogger je po dobu merania umiestnený vo vozidle.



Obr. 29 Schéma zapojenia

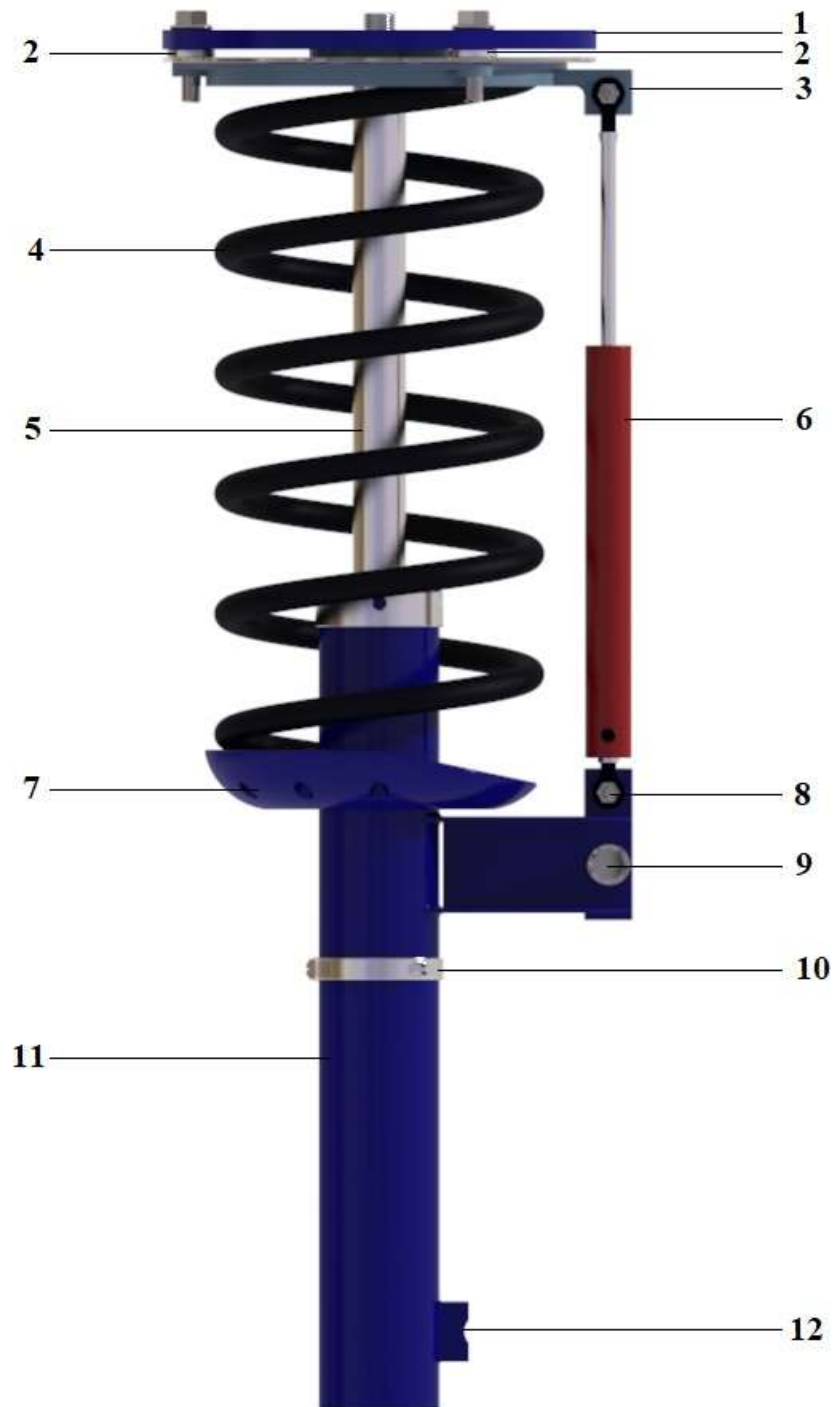
5 NÁVRH MERACEJ ZOSTAVY

V nasledujúcej časti práce bude predstavený model predného odpruženia vytvoreného pomocou 3D CAD softvéru PTC Creo Parametric. Snahou návrhu zostavy, výberu jednotlivých typov snímačov a ich usporiadania je dosiahnutie čo najlepšej univerzálnosti použitia na rôznych automobiloch, najmä však tých, ktoré disponujú najpoužívanejšími druhmi zavesenia typu MacPherson, či lichobežníkovým zavesením.



Obr. 30 Model zostavy

5.1 MODEL ZOSTAVY



Obr. 31 Model zostavy, popis

1 – karoséria, 2 – snímače sily, 3 – uchytenie polohového snímača (vrchné), 4 – pružina, 5 – piestnica, 6 – polohový snímač, 7 – miska pružiny, 8 – uchytenie polohového snímača (spodné), 9 – uchytenie tyče stabilizátora, 10 – termočlánok, 11 – telo tlmiča, 12 – pero pre uchytenie tlmiča k tehlici

Na obrázku 31 je zobrazený návrh umiestnenia jednotlivých snímačov na tlmiči a popis jednotlivých častí zostavy. Predlohou pre vytvorenie modelu tlmiča bol tlmič prednej nápravy značky RIDEX, modelové číslo 854S0006, ktorý je kompatibilný s viacerými modelmi vozidiel z koncernu Volkswagen. Model nie je dokonale zhodný s reálnym tlmičom, avšak jeho dĺžka, priemer tela, priemer piestnice a spôsoby uchytenia o karosériu, či tehlicu sú zachované.

Zhotovený 3D model slúži na znázornenie polohy a orientácie jednotlivých snímačov a ich spôsoby uchytenia o existujúce prvky tlmiča. Každý model automobilu, aj rovnakej značky, môže disponovať mierne odlišnými koncovými uloženiami tlmiča, ako aj rôznymi priestorovými pomermi v mieste ich montáže ku karosérii a tehlici. S ohľadom na tieto faktory bol kladený dôraz na čo najúspornejšie priestorové riešenie usporiadania snímačov s možnosťou modifikácie pre dosiahnutie kompatibility s tlmičmi o rôznych priemeroch a dĺžkach.

Model nezobrazuje vedenie káblov, ale iba výstupy jednotlivých snímačov.

5.2 SNÍMAČE SILY

Hlavnou meranou veličinou v meracom reťazci je sila. Jej hodnota môže byť stanovená rôznymi spôsobmi, najjednoduchšie za pomoci použitia senzorov pracujúcich na základe dvoch základných princípov.

Jedna technológia využíva tenzometrické snímače, ktoré prevádzajú váhu (zaťaženie) na elektrické napätie pomocou tenzometrických známok lepených na ich povrch. Tieto známky zmenou svojej dĺžky menia odpor, čo je zaznamenávané v podobe elektrického signálu [34].

Druhá technológia využíva piezoelektrický jav. Pôsobením sily na doštičku z vhodného materiálu s piezoelektrickými vlastnosťami (kremeň, titaničitán bárnatý) dochádza k ich elektrickej polarizácii. Na elektródach umiestnených na tejto doštičke je tvorený náboj [35]:

$$Q = kp \cdot F, \quad (4)$$

kde kp je piezoelektrická konštanta a F je pôsobiaca sila. Doštička tvorí kondenzátor, ktorý na základe rovnice (5) generuje elektrické napätie. Tento vzťah je nasledovný [35]:

$$U = \frac{Q}{c} = \frac{kp}{c} \cdot F = ku \cdot F, \quad (5)$$

kde ku je napät'ová konštanta snímača.



Obr. 32 Piezoelektrický snímač PACEline CLP (verzia s nominálnym zaťažením 80 kN) [36]

V návrhu je zvolený piezoelektrický snímač PACEline CLP od výrobcu HBM. Tento druh snímačov je používaný pri meraniach hlavne pri pôsobení dynamických síl a je schopný poskytnúť spoľahlivé výsledky aj v náročných podmienkach. Jeho vysoká presnosť pri širokom meracom rozsahu je schopná zaznamenať zmenu od jednotiek až po desiatky, či stovky tisíc Newtonov. Veľká tuhosť tohto senzoru má za následok vysokú vlastnú frekvenciu, čo umožňuje meranie aj vo vysokofrekvenčných oblastiach niekoľkých kilohertzov.

Senzor je vyrobený z nerezovej oceli a má stupeň ochrany IP65, podľa normy EN 60529. Prvá číslica za IP udáva jeho prachotesnosť a druhá číslica odolnosť voči tryskajúcej vode. Montáž tohto snímača je jednoduchá, umiestňuje sa ako štandardná podložka medzi skrutku a povrch materiálu. Je vyrábaný v štandardizovaných rozmeroch – vnútorný priemer podložky odpovedá bežne používaným priemerom závitov v strojárstve. Azda najväčšou výhodou tohto typu snímača je jeho kompaktnosť. Po samotnej montáži je potrebná jeho kalibrácia pomocou vhodného softwaru a zadanie správnej hodnoty predpätia, ktorá je uvedená v katalógovom liste.

V priloženom katalógovom liste (v prílohe II) výrobca udáva druhy snímačov s rozsahom menovitých síl od 3 do 80 kN. Dokopy je v ponuke 7 druhov snímačov, pričom ich rozmery sa menia v závislosti na nominálnej sile zaťaženia, hrúbka piezoelektrickej podložky začína na 3 mm pri snímačoch do 7 kN a končí na rozmere 5 mm pri 80 kN snímači. Rovnako sa tak mení aj ďalší dôležitý konštrukčný parameter - vnútorný priemer diery (od 2,7 po 14,1 mm).

Horné uloženie tlmiča je najčastejšie uchytené o karosériu pomocou troch skrutiek M8 v kruhovom rozložení. Z tohto dôvodu nie je možné použiť bez potrebných veľkých úprav karosérie menšie piezoelektrické podložky ako tie s nominálnou hodnotou zaťaženia 26 kN, ktorých vnútorný priemer je 8,1 milimetra. Návrh počíta s umiestnením troch takýchto piezoelektrických podložiek medzi rám karosérie a horné uloženie tlmiča. Hrúbka zvoleného typu snímača je 3,5 mm.

Alternatívou ku podložkám pracujúcim na piezoelektrickom princípe by mohla byť lacnejšia verzia – tenzometrické podložky KMRplus od rovnakého výrobcu. Sú veľmi vhodné na dlhodobé monitorovacie úlohy, nakoľko nemajú tendenciu odchýlenia od presnosti s rastúcou dobou merania. Piezoelektrické podložky túto nevýhodu majú, avšak pri uvádzanom vychýlení presnosti 1 N/min je to pri meraní vysokých zaťažení v rádoch tisícov Newtonov zanedbateľná hodnota pri predpokladanej dobe trvania merania niekoľkých desiatok minút. Zásadnou nevýhodou tohto druhu senzoru je jeho väčšia hrúbka (od 8,5 mm) [36].

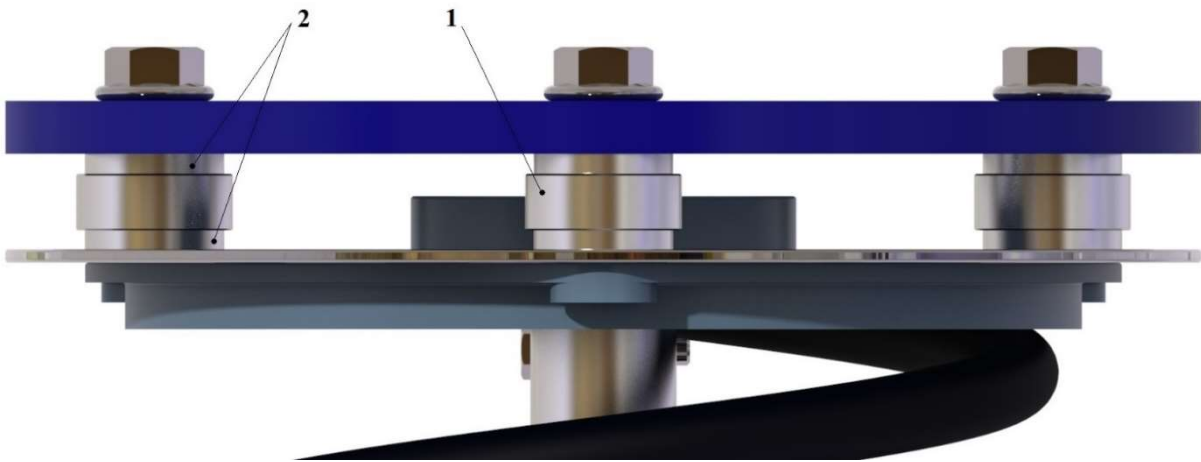


Obr. 33 Tenzometrické podložky KMRplus [36]

V prípade použitia tenzometrických podložiek sú kvôli vnútornému priemeru diery 8 mm zvolené snímače s nominálnou hodnotou zaťaženia 40 kN. Hrúbka samotnej tenzometrickej podložky je 8,5 mm, no spolu s dvomi aplikačnými platničkami záťaže, s ktorými sa používa ich celková hrúbka dosahuje 14,5 mm.

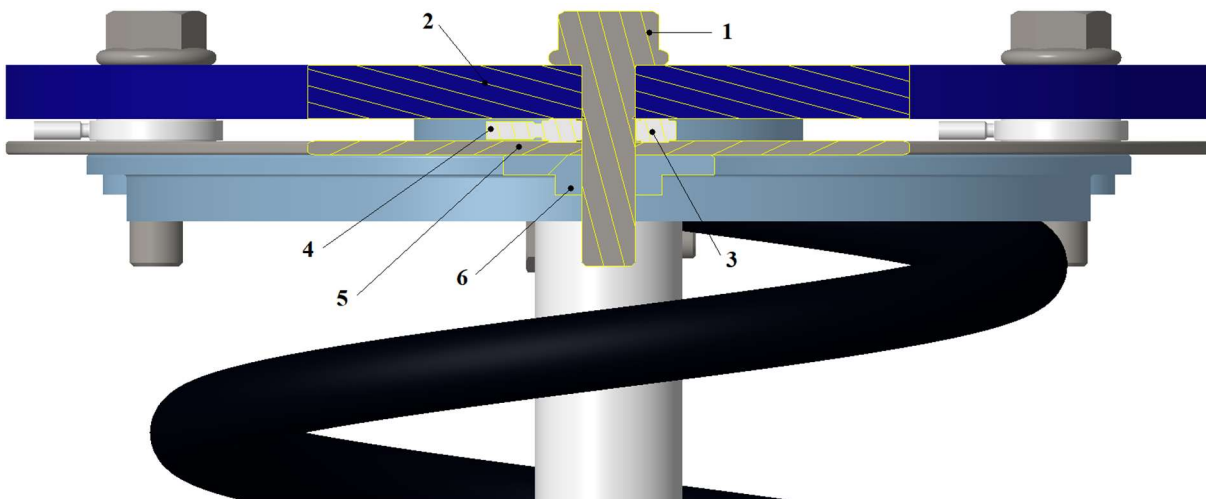
5.3 UMIESTNENIE SNÍMAČOV SILY

Oba druhy snímačov, piezoelektrické aj tenzometrické, sú umiestené na rovnakom mieste, nakoľko sa vkladajú ako podložky medzi dve spájané súčasti. Jediným rozdielom (nie z hľadiska ich technológie) je ich hrúbka, a pri použití tenzometrickej podložky je teda potrebné počítať s viac ako dvojnásobkom hodnoty ako je tomu v prípade použitia piezoelektrickej varianty. Na obrázkoch 34 a 35 sú zobrazené obe varianty, úspora miesta v prípade použitia piezoelektrických podložiek je znateľná.



Obr. 34 Pohľad na horné uloženie s tenzometrickými podložkami

1 – tenzometrická podložka, 2 – aplikačné platničky zátáže



Obr. 35 Rez horným uložením tmiča v ose skrutky s piezoelektrickými podložkami

1 – skrutka M8, 2 – karoséria (vnútorný závit), 3 – piezoelektrická podložka, 4 – výstup zo snímača pre kábel, 5 – prídavná podložka, 6 – horné uloženie tmiča vrátane ložiska (vnútorný závit)

Na obrázku 35 je zobrazený rez osou skrutky horného uloženia tlmiča v karosérii. Medzi horným uložením a piezoelektrickými podložkami je umiestnená prídavná kovová podložka s plytkými drážkami, ktoré slúžia pre koaxiálne uloženie snímača a diery. Samotná prídavná podložka ďalej plní funkciu rovnomerného prenosu sily medzi horným uložením a snímačmi, nakoľko horné uloženie je vyrábané z umelej hmoty alebo gummy a vznikalo by riziko vtlačania piezoelektrických podložiek do vnútra uloženia z dôvodu zmenšenia dotykovej plochy.

Výstupy pre káble je možné orientovať v akomkoľvek smere, samotné káble môžu byť vedené najkratšou cestou ku dataloggeru, medzi karosériou a uložením tlmiča je dostatočná vôľa pre ich vedenie.

5.3.1 KONTROLA ZAŤAŽENIA

Použitie snímačov o danom rozsahu je overené pomocou výsledkov zo simulácie jazdy rôznych typov vozidiel po vozovke. Tabuľka 2 zobrazuje efektívne hodnoty zrýchlenia odpružených hmôt, teda zrýchlenia, ktoré sú prenášané na karosériu. Zrýchlenia neodpružených hmôt dosahujú hodnôt až niekoľkých stoviek g.

Výsledky simulácie, ktoré sú použité pri overení zaťaženia sú prevzaté z práce *Vliv charakteristik tlumiče na jízdní dynamiku* [37].

Tab. 2 Zrýchlenia odpružených hmôt vozidiel na vozovkách o rôznej kvalite [37]

Kvalita vozovky	Typ vozidla	Efektívna hodnota zrýchlenia odpruženej hmoty [m/s^2]
A	Offroad	0.098
	Rally	0.211
	Formula	0.417
C	Offroad	0.394
	Rally	0.846
	Formula	1.667
F	Offroad	3.125
	Rally	6.377
	Formula	10.732

Bežný osobný automobil je nastavený tak, že hodnota zrýchlenia odpruženej hmoty sa pohybuje v rozmedzí Rally a Offroad auta. Offroad má „mäkšie“ nastavenie, pretože sa predpokladá pomalšia jazda po nespevnených cestách s veľkými nerovnosťami, naopak Rally auto má nastavenie podvozku tuhšie pre lepšie zvládanie ostrých zmien smeru jazdy pri vysokej rýchlosti. Efektívna hodnota zrýchlenia odpruženej hmoty bežného automobilu sa pri jazde po veľmi nekvalitnej vozovke (F) pohybuje v rozmedzí približne 3 až 6 m/s^2 . Špičková hodnota, resp. maximálna hodnota zrýchlenia, ktorú môžu hmoty skokovo nadobudnúť je niekoľkonásobná, konkrétne pri Offroad vozidle je pre efektívnu hodnotu 3,125 m/s^2 dosahované maximálne zrýchlenie približne 10 m/s^2 . Pri Rally aute je maximálna hodnota zrýchlenia približne 25 m/s^2 pre efektívnu hodnotu zrýchlenia 6,377 m/s^2 [37].

Z dôvodu bezpečnosti, že nenastane poškodenie snímača môžeme túto hodnotu 25 m/s^2 považovať ako hornú hranicu zrýchlenia, ktoré dosiahne odpružená hmota osobného automobilu pri prejazde výraznou nerovnosťou vo vysokej rýchlosti. Predpokladajme váhu odpruženej hmoty štvrtinového modelu automobilu 325 kg a pôsobenie gravitačného zrýchlenia (statické zaťaženie) $9,81 \text{ m/s}^2$.

$$F_{max, min} = m \cdot g \pm m \cdot a, \quad (6)$$

kde $F_{max, min}$ je výsledná maximálna a minimálna sila pôsobiaca na karosériu, m je váha odpruženej hmoty štvrtinového modelu automobilu, g je gravitačné zrýchlenie a a je maximálne zrýchlenie odpruženej hmoty. Po dosadení dostaneme:

$$F_{max} = 325 \cdot 9,81 + 325 \cdot 25 = 3188,25 + 8125 = 11313,25 \text{ N} \quad (7)$$

a

$$F_{min} = 325 \cdot 9,81 - 325 \cdot 25 = 3188,25 - 8125 = -4936,75 \text{ N} \quad (8)$$

Sily pôsobiace v rovnakom smere sa sčítajú, sily orientované v opačnom smere sa odčítajú. Silový rozsah je určený nasledovne:

$$F = F_{max} - F_{min} = 11313,25 - -4936,75 = 16250 \text{ N} = 16,25 \text{ kN} \quad (9)$$

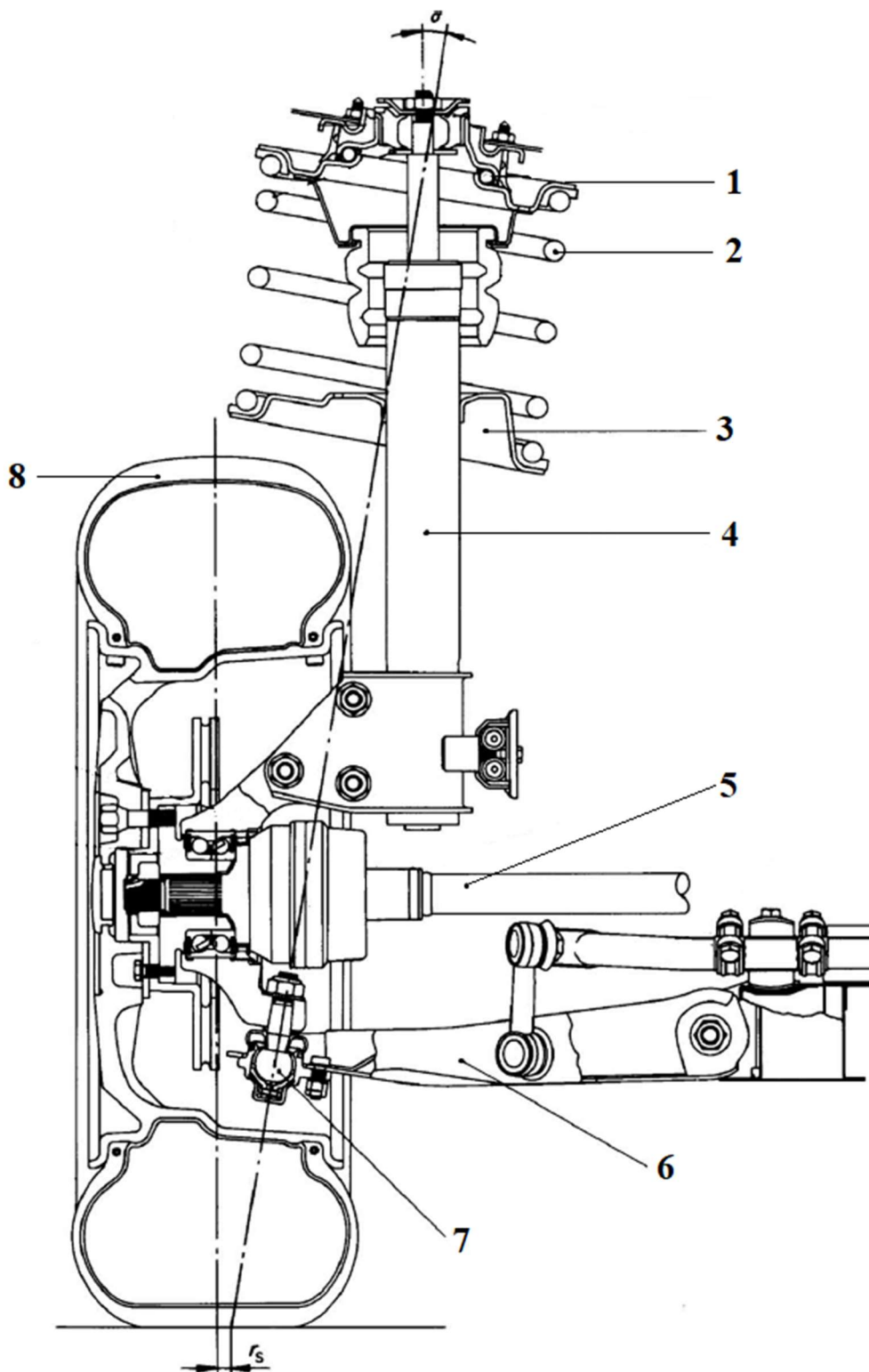
Nominálna hodnota zaťaženia jednej piezoelektrickej podložky je 26 kN , v návrhu sa počíta s použitím troch kusov, čo umožňuje nominálne zaťaženie o hodnote až 78 kN . Návrhová bezpečnosť snímačov, ktorú vypočítame ako pomer nominálneho zaťaženia F_n a predpokladaného zaťaženia F je nasledovná:

$$k = \frac{F_n}{F} = \frac{78}{16,25} = 4,8, \quad (10)$$

Napriek bezpečnej hodnote je potrebné pri vykonávaní merania dbať na citlivé zaobchádzanie so snímačmi, nakoľko prekročenie hornej hranice nominálneho zaťaženia môže viesť k ich nenávratnému poškodeniu.

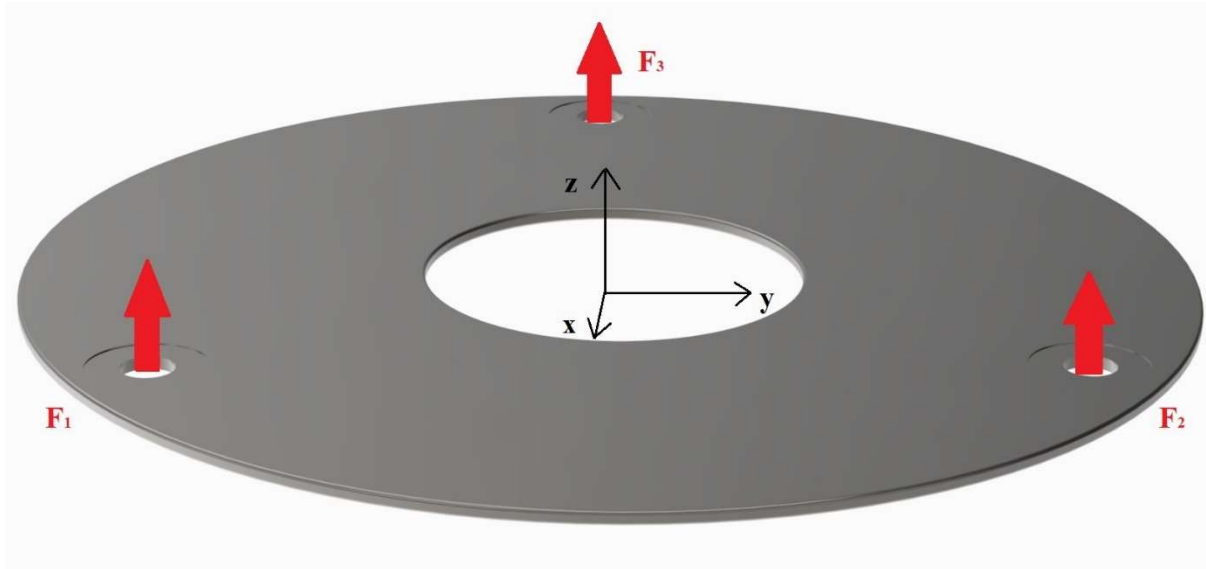
5.3.2 ŠPECIFIKÁ ZAVESENIA TYPU MACPHERSON

Zavesenie MacPherson využíva tlmič ako vzperu, ktorá je v spodnej časti prichytená ku kolesu a v hornej časti priamo ku karosérii, kde funguje ako horný otočný bod závesu kolesa, pričom toto spojenie je realizované pod uhlom. Tento typ uloženia spôsobuje vznik ohybových momentov, ktoré pôsobia na tlmič. V dôsledku laterálnych síl je konštrukcia tlmiča celkovo pevnejšia ako pri iných typoch zavesenia. Najväčšiu záťaž znášajú miesta kontaktu piestnice s jej vedením a piestu s valcom tlmiča. Vplyvom zvýšeného trenia je miera opotrebovania týchto kritických miest výrazne vyššia. Čiastočne sa tomu dá zamedziť uložením pružiny došikma, prípadne uloženie horného ložiska do gumového lôžka, tzv. dorazu [7].



Obr. 36 Rez zavesením typu MacPherson [7]

1 – horné uloženie tmiča, 2 – pružina, 3 – spodná miska pružiny, 4 – tmič,
5 – hnací hriadeľ, 6 – rameno nápravy, 7 – guľový kĺb, 8 - pneumatika



Obr. 37 Podložka pod snímače sily, na ktorej sú znázornené vektory pôsobiacich síl

Pomocou znalosti geometrie horného uloženia, a teda polohy jednotlivých snímačov voči ose tlmiča z , je možné spočítať veľkosti momentov jednotlivých síl. Nositeľky síl F_1 , F_2 a F_3 sú rovnobežné s osou z , a teda ich momenty k osi z sú nulové. Pre moment sily F_1 platia nasledovné vzťahy:

$$M_{1x} = F_1 \cdot r_{1x}, \quad (11)$$

kde M_{1x} je moment sily F_1 k osi x a r_{1x} je jej rameno. Podobne je vypočítaný moment M_{1y} :

$$M_{1y} = F_1 \cdot r_{1y}, \quad (12)$$

kde M_{1y} je moment sily F_1 k osi y a r_{1y} je jej rameno. Analogicky sú dopočítané momenty zvyšných dvoch síl. Výsledné celkové momenty k osi x - M_x a k osi y - M_y sú spočítané ako súčet ich jednotlivých zložiek:

$$M_x = M_{1x} + M_{2x} + M_{3x} \quad (13)$$

a

$$M_y = M_{1y} + M_{2y} + M_{3y} \quad (14)$$

Získaním dodatočnej informácie o namáhaní tlmiča laterálnymi silami je možné sledovať zaťaženia, ktorými sú piest a piestnica vystavené, čo je užitočné práve pri zavesení typu MacPherson, kde tieto sily môžu presiahnuť hodnotu až 1 kN. To v konečnom dôsledku dokáže zapríčiniť aj zablokovanie tlmiča [7].

5.3.3 SNÍMAČ ŠMYKOVEJ SILY



Obr. 38 Piezoelektrický snímač PACeline CSW [36]

Výrobca HBM ponúka aj rozmerovo identický snímač ku PACeline CLP (obr. 32), konkrétne typ snímačej podložky CSW (obr. 38), ktorá meria šmykovú silu v smere výstupu kábla (červená šípka F_y). Kombináciou jednej podložky CLP, merajúcej veľkosť sily v normálovom smere (F_z), a dvoch podložiek CSW, merajúcich veľkosti síl v tangenciálnych smeroch (F_y a F_x), je možné zostaviť merací systém zaznamenávajúci veľkosti síl v troch smeroch, čo môže poskytnúť doplnkové informácie o namáhaní skrutkových spojov tlmíča a karosérie v šmyku.

5.4 SNÍMAČ POLOHY

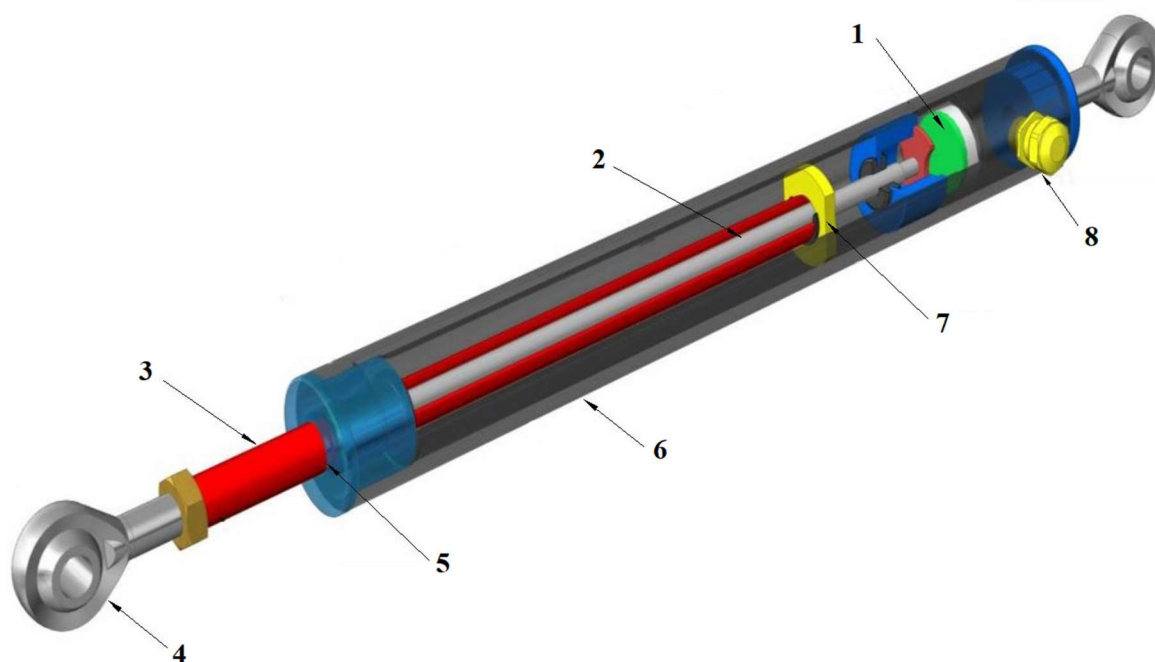
K získaniu základných silových charakteristík tlmíča (rýchlostná a zdvihová) je potrebné disponovať údajmi o aktuálnej rýchlosti pohybu piestu a jeho polohe. Tieto veličiny sa získavajú pomocou lineárnych senzorov polohy, ktorých metódy merania sú založené na rôznych princípoch. V nasledujúcej tabuľke sú porovnané niektoré typy lineárnych snímačov:

Tab. 3 Porovnanie vlastností lineárnych snímačov polohy [38]

Technológia	Odporová	Indukčná		Time-of-Flight
Typ senzoru	Potenciometer	LVTD	LVIT	Laser
Bezkontaktnosť	Nie	Áno	Áno	Áno
Rozsah	2,5 až 500 mm	0,25 až 10 mm	5 mm až 1 m	2,5 mm až >10 m
Presnosť	Dobrá	Veľmi dobrá	Veľmi dobrá	Vynikajúca
Rozlíšenie	Veľmi dobré	Vynikajúce	Vynikajúce	Vynikajúce
Opakovateľnosť	Priemerná	Vynikajúca	Vynikajúca	Vynikajúca
Linearita	Priemerná	Dobrá	Vynikajúca	Vynikajúca
Dynamická odpoveď	Veľmi dobrá	Dobrá	Vynikajúca	Dobrá
Teplotná tolerancia	Prijateľná	Vynikajúca	Dobrá	Vynikajúca
Citlivosť na vibrácie a otrasy	Prijateľná	Dobrá	Dobrá	Prijateľná
Životnosť a spoľahlivosť	Priemerná	Veľmi dobrá	Veľmi dobrá	Veľmi dobrá
Cena	Nízka	Vyššia	Nižšia	Vysoká

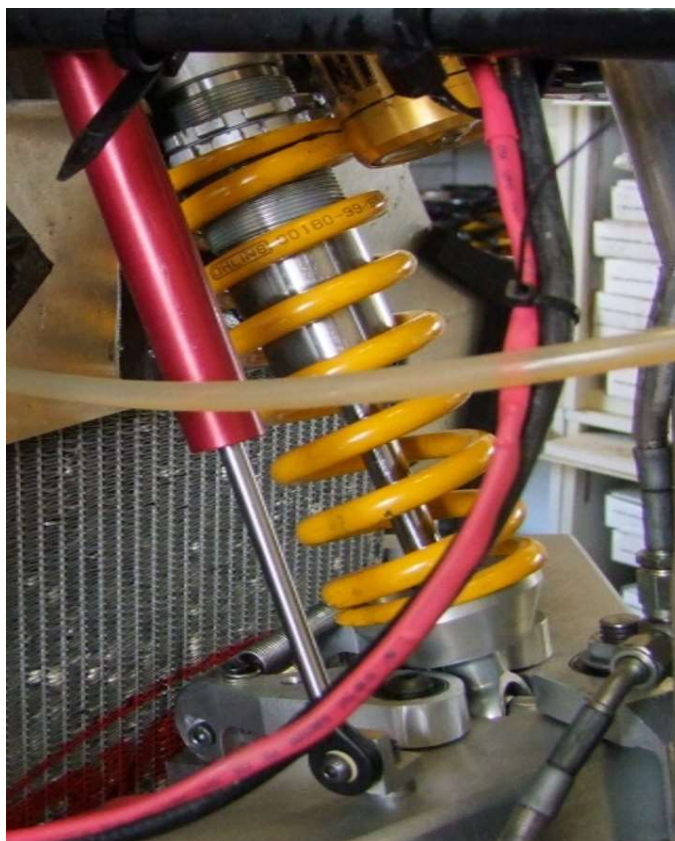
Legenda	Prijateľný	Priemerný	Dobry	Veľmi dobrý	Vynikajúci
---------	------------	-----------	-------	-------------	------------

Vďaka kombinácii vhodných vlastností je pre potreby merania dráhy zvolený lineárny snímač typu LVIT (Linear Variable Inductance Transducer, v preklade lineárny prevodník premennej indukčnosti), model ILPS-19 od firmy Harold G. Schaevitz Industries. Tento typ senzoru pracuje na rozdiel od klasického potenciometru bezkontaktné, jeho životnosť je veľmi vysoká, testovaná na viac ako 110 miliónov cyklov. S vysokým stupňom ochrany IP67 je odolný voči prachu a vode, rovnako tak aj voči otrasom a vibráciám. Je vhodný na použitie v ťažších podmienkach a je schopný práce v teplotnom rozmedzí od -40 až do 105°C. Maximálna prípustná dĺžka zdvihu tohto typu dosahuje 200 mm, pre potreby merania je zvolený kus s rozsahom 100 mm [38].



Obr. 39 Prierez LVIT snímačom [38]

1 – uloženie mikroprocesoru, 2 – indukčný snímací prvok, 3 – sonda z nerezovej ocele,
4 – koncový klb pre uchytenie, 5 – styková plocha s veľmi nízkym trecím koeficientom,
6 – plášť senzoru, 7 – nízkoodporový vodiaci mechanizmus, 8 – konektor pre kábel



Obr. 40 Príklad použitia snímača ILPS-19 pri tlniči [38]

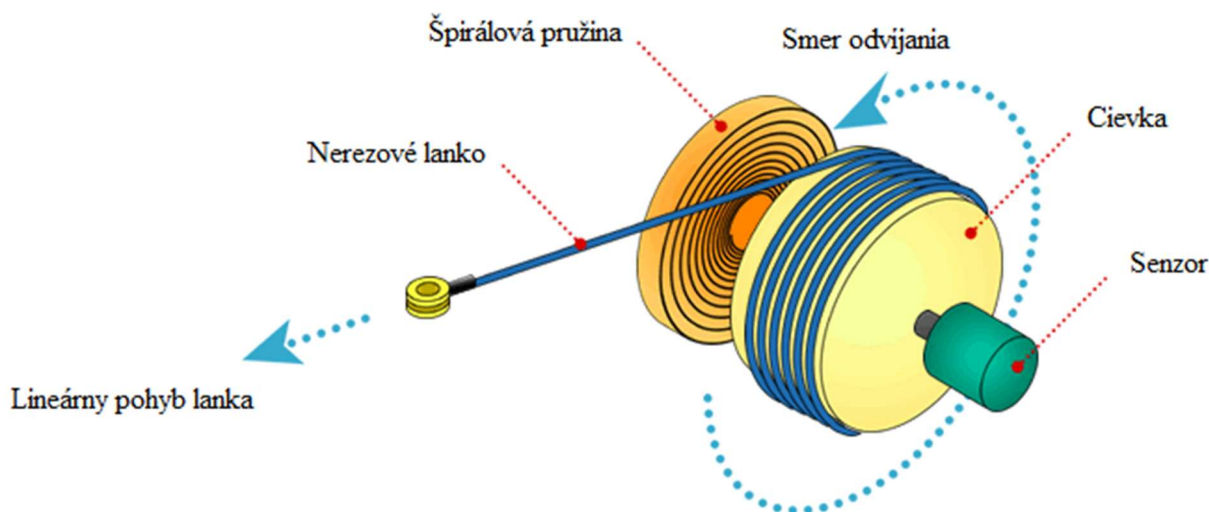
LVIT snímač využíva dlhú cievku o malom polomere, ktorá je pripojená na rezonančný LC obvod oscilátora zabudovaného do elektroniky senzoru. Vodivá trubica je posúvaná pozdĺž cievky, čo spôsobuje zmenu jej indukčnosti a zároveň sa mení rezonančná frekvencia LC obvodu. Výstup z oscilátora vedie do integrovaného mikroprocesora, kde je zmena frekvencie vyhodnocovaná. Digitálny výstup mikroprocesora prechádza cez digitálno-analógový prevodník, kde sa generuje napätie úmerné frekvencii. Následnou úpravou napätia je dosiahnutý kvalitný analógový výstupný signál [38].

Druhým variantom je použitie lankového potenciometra SP1-12, resp. SP1-12-3 (verzia s lepším stupňom ochrany). Najväčšími výhodami využitia práve tohto druhu senzora sú jeho kompaktné rozmery a jednoduchosť inštalácie. Kryt senzoru je vyrobený z tvrdeného plastu a zmestí sa do priestoru v tvare kocky o dĺžke strany 65 mm. Výrobca TE Connectivity ponúka 2 typy krytov, jednoduchší a menší so stupňom ochrany IP 50 (čiastočne prachotesný) a mierne robustnejší so stupňom ochrany IP 67 (prachotesný a vodotesný). Inštalácia je nenáročná, senzor je dodávaný s lištou pripevnenou ku krytu pre jednoduché uchytenie. Potenciometer je možné orientovať v akomkoľvek smere.



Obr. 41 Lankový potenciometer a) SP1-12, b) SP1-12-3 [39]

Z krytu vytŕča oko úchytu, ktoré je spojené s pevným nerezovým lankom. Lanko je namotané na cievku, ktorá sa pri odvíjaní lanka priečne pohybuje a zaist'uje sa tak konštantný priemer. Jeho namotávanie na cievku je zaistené pomocou špirálovej pružiny. V centrálnej časti cievky je umiestnený konektor pre umiestnenie snímacieho elementu s výstupom pre kábel [39].



Obr. 42 Mechanizmus lankového potenciometra [39]

Zhrnutie a porovnanie základných charakteristík oboch typov senzorov, teda LVIT aj potenciometra, je uvedené v tabuľke 2. V prípade lankového potenciometra je merací rozsah závislý od dĺžky lanka a veľkosti cievky, preto môže byť aj oveľa väčší ako udáva tabuľka. Cena uvedeného lankového potenciometra so stupňom ochrany IP 50 sa pohybuje okolo 180 €, v konfigurácii IP 67 je jeho cena 330 €. Vyššie spomenutý LVIT senzor má cenu 357 dolárov, čo je v prepočte približne 300 € a jeho deklarovaná životnosť 110 miliónov cyklov presahuje životnosť lankového potenciometra 220-násobne. Konečná voľba teda závisí od dostupných priestorových pomerov pri hornom uložení a pozdĺž tlmieča a požadovanej presnosti merania.

5.5 UMIESTNENIE SNÍMAČA POLOHY

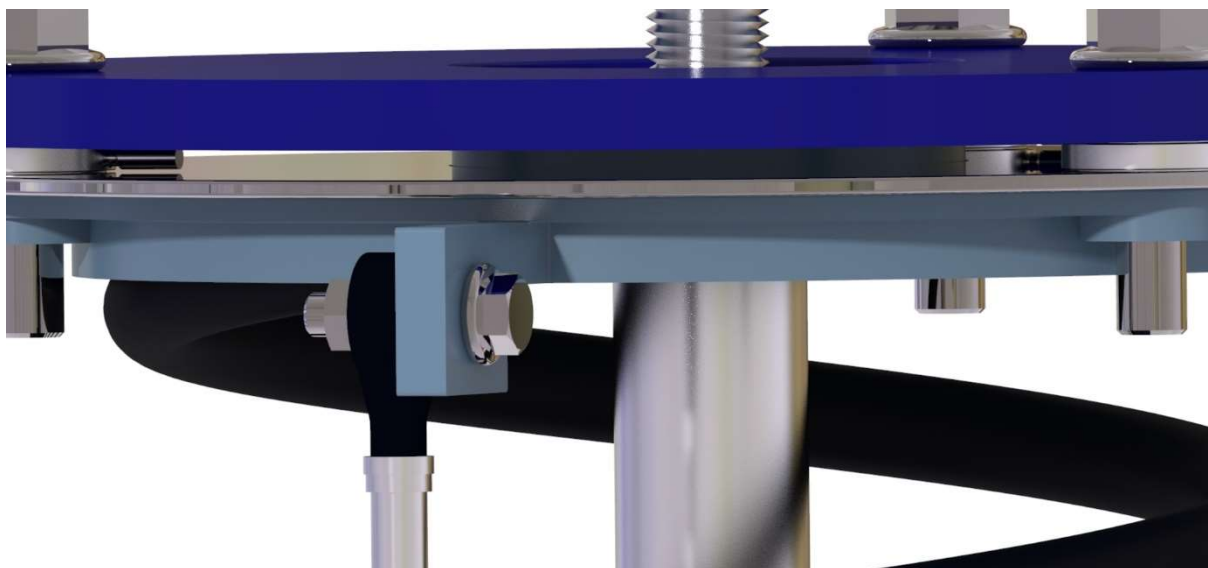


Obr. 43 Pohľad na umiestnenie LVIT snímača

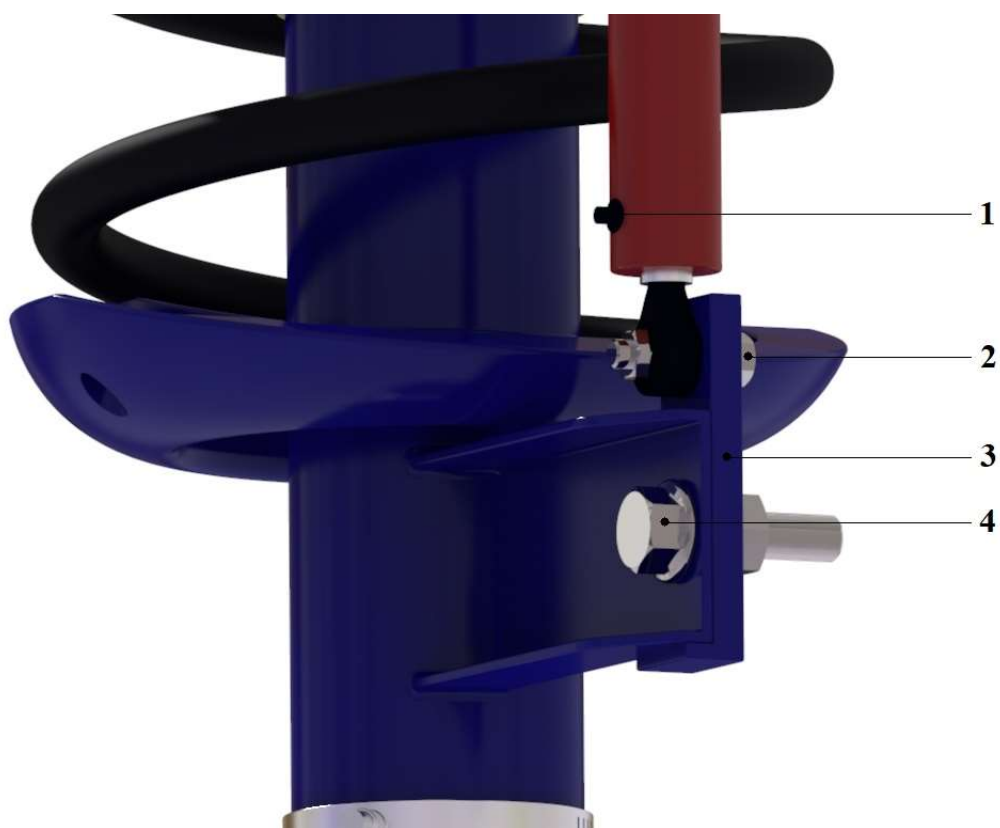
Na obrázku 43 je zobrazené miesto uloženia LVIT senzora. Na oboch koncoch sa nachádzajú otočné kĺby pre jeho uchytenie, ich vnútorné diery majú priemer 5 milimetrov. Vrchná časť je pripevnená skrutkou a maticou o horné uloženie, ktoré je pre potrebu uchytenia nutné vhodne prispôbiť alebo na mieru vyrobiť. Spodná časť je uchytená taktiež skrutkou a maticou pomocou prídavnej spojovacej časti ku hornému uloženiu spojovacej tyče stabilizátora. Priame spojenie snímača ku uloženiu spojovacej tyče nie je možné realizovať kvôli rozdielnemu priemeru skrutiek. Spojovacia tyč býva zväčša prichytená pomocou skrutiek M10 alebo M12.

Je dôležité dbať na správne uchytenie, os senzora musí byť paralelná k osi tmiča. V opačnom prípade by mohlo dôjsť k nepresnostiam merania a poškodeniu senzora.

Výstup signálu z LVIT snímača je v jeho spodnej časti, pomocou kábla bude pripojený k zápisníku dát. Detailnejšie pohľady na oba konce uloženia sú zobrazené na obrázkoch 44 a 45.



Obr. 44 Horné uchytenie LVIT



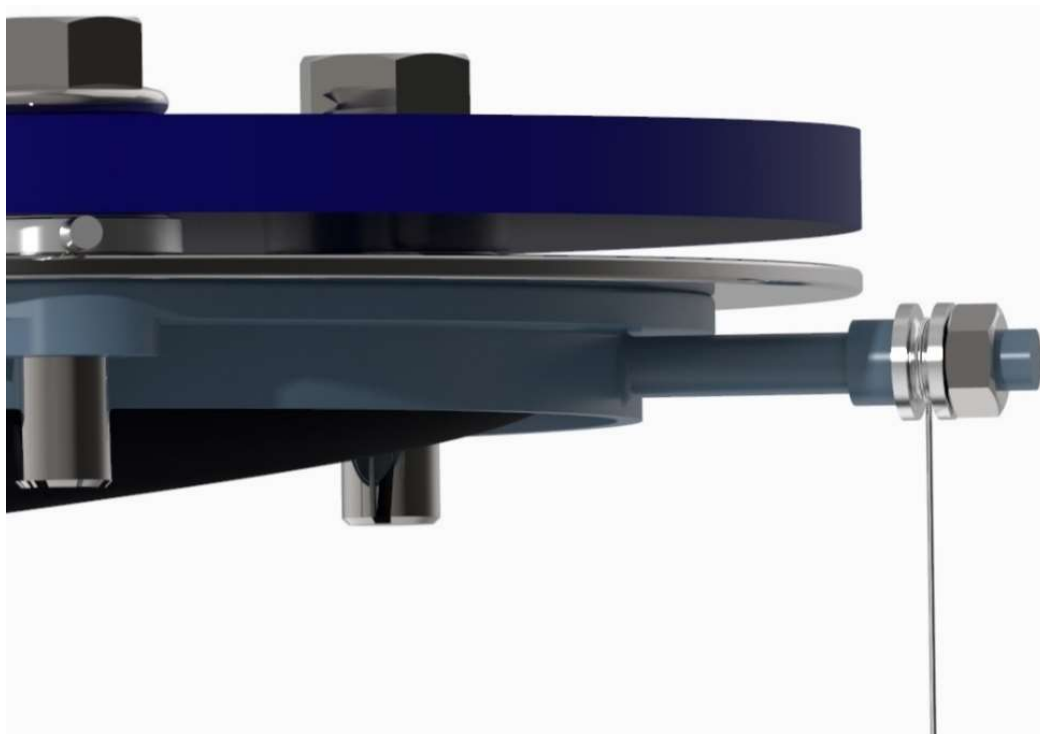
Obr. 45 Spodné uchytenie LVIT

1 – výstup pre kábel, 2 – skrutka M5, 3 – prídavná časť pre uchytenie LVIT snímača, 4 – skrutka M10 (horné uloženie tyče stabilizátora)



Obr. 46 Pohľad na umiestnenie lankového potenciometra

Alternatívou ku LVIT snímaču je lankový potenciometer. Vhodnosť jeho použitia spočíva najmä v úspore miesta pozdĺž pružiny, kedy by z dôvodu obmedzených priestorových pomerov nebolo možné inštalovať LVIT snímač. Spodné uloženie je riešené podobne ako pri uchytení LVIT, tentoraz je použitá „T“ časť (obr. 48), ktorá je na spodnej časti prichytená skrutkou a maticou o spojovaciu tyč stabilizátora, na jej vrchu je dvoma skrutkami a maticami pripevnený potenciometer. Výrobca ho dodáva s montážnym držiakom z nerezovej oceli. Koniec lanka je opatrený očkom pre jeho uchytenie o danú súčasť, v tomto prípade o horné uloženie tlmiča, ktoré bolo upravené. Bol pridaný výstupok so zarážkou na vymedzenie miesta pre očko so závitom na jeho konci pre možnosť jeho uchytenia. Očko je po navlečení zaistené proti priečnemu pohybu maticou (obr. 47).



Obr. 47 Horné uchytenie lankového potenciometra



Obr. 48 Detail na potenciometer a jeho pripevnenie o „T“ časť



Obr. 49 Popis spodného uchytenia lankového potenciometru

1 – kryt tela potenciometru, 2 – držiak z nerezovej oceli, 3 – uchytenie pomocou skrutky a matice, 4 – prídavná „T“ časť uchytenia potenciometru, 5 – výstup pre kábel

5.6 SNÍMAČ TEPLoty

Pre získanie dodatočných informácií a charakteristík tlmiča je zaistené snímanie teploty plášťa meraného tlmiča. Zohľadnením odchýlky merania je možné stanoviť približnú teplotu oleja v tlmiči. Teplota oleja je parameter, ktorý vplýva na hodnotu jeho viskozity. Zmenu (kinematickej) viskozity na základe teploty popisuje viskozitný index. Tento parameter patrí medzi základné vlastnosti olejov, čím je viskozitný index vyšší, tým je olej kvalitnejší. S rastúcou teplotou oleja jeho viskozita klesá, a naopak, s klesajúcou teplotou oleja rastie [40].

Vhodným senzorom teploty s dostačujúcou presnosťou a prijateľnou cenou je termočlánok typu K, konkrétne typ TTKE-243 od výrobcu Limatherm, dodávaný v dvoch verziách, kde verzia S má tangenciálne umiestnenie snímača vzhľadom ku kovovej svorke a verzia P, ktorá má snímač s výstupom orientovaný kolmo na svorku. Kontaktný snímač je vyrobený zo špeciálnych materiálov – kladný vodič je z chromelu, čo je zliatina niklu a chrómu, záporný vodič je z alumelu, teda zo zliatiny niklu, hliníka, mangánu a kremíka. Tieto materiály umožňujú meranie teploty povrchov cez 1000°C. Pre potreby merania teploty oleja bude postačovať typ s meracím rozsahom od -40 do 375°C. Termočlánok s triedou presnosti 1 má toleranciu $\pm 1,5^\circ\text{C}$. Vďaka zabudovaniu snímača do kovovej svorky je možné jeho uchytenie na povrchoch s kruhovým prierezom s priemerom od 16 do 180 mm, čo je rozmedzie, do ktorého sa zmestia plášte všetkých typov tlmičov. Možnosť voľby materiálu prírodného kábla umožňuje jeho nasadenie aj v ťažších podmienkach, ktorým je tlmič automobilu vystavený [41].

Na rozdiel od odporových teplomerov typu PT100, vyrobených z platiny a zlata, majú termočlánky o niečo nižšiu presnosť, avšak pre potreby vykonávaného merania sú plne dostatočné. Výhodou nasadenia termočlánku typu K je jeho kompaktnosť a prispôsobenie sa tvaru povrchu.



Obr. 50 Kontaktný snímač teploty Limatherm TTKE-243, verzia S [41]

5.7 UMIESTNENIE SNÍMAČA TEPLoty



Obr. 51 Umiestnenie termočlánku (verzia P) na tlmiči

Termočlánok zabudovaný do kovovej svorky umožňuje veľmi jednoduchú montáž na tlmiče o rôznych priemeroch bez potreby akýchkoľvek úprav. Priemer plášťa tlmiča automobilu sa pohybuje okolo hodnoty 50 mm. Šírka svorky pre priemery do 110 mm je 9 mm, je zvolená verzia článku typu P (viď príloha VI) s radiálnym výstupom pre kábel.

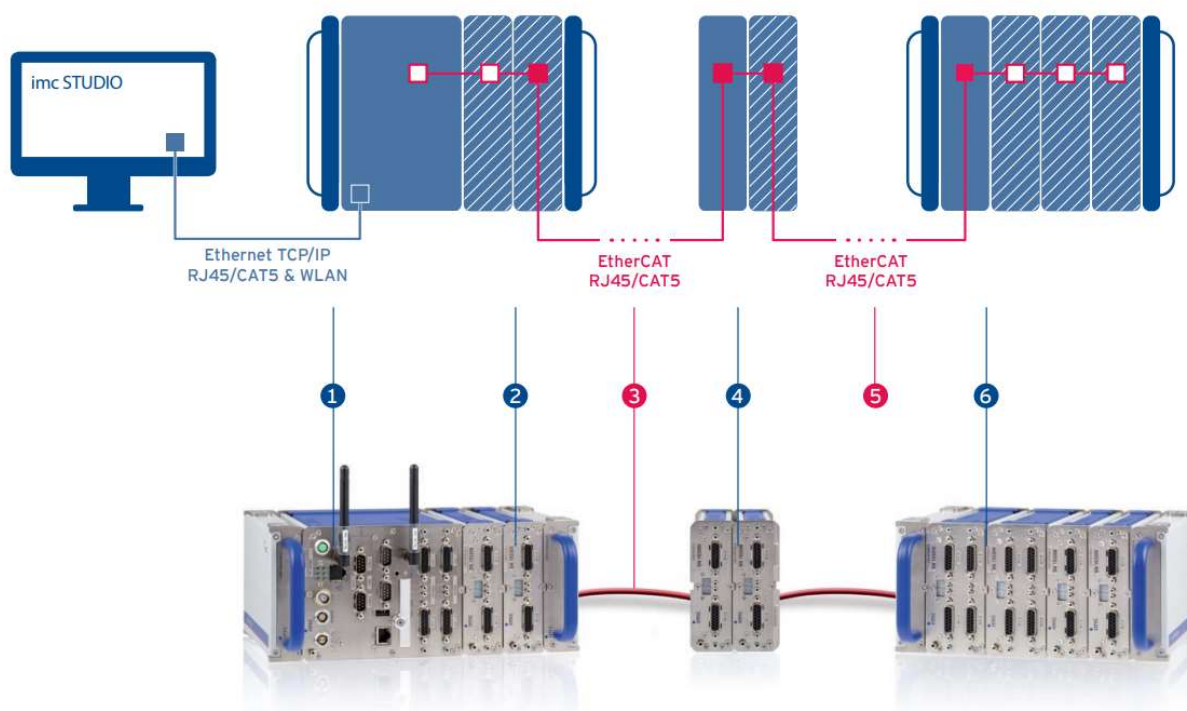
Konkrétne miesto uchytenia nie je presne dané, závisí to od priestorových pomerov, ktoré sú individuálne pri každom type automobilu. Je vhodné dbať na umiestnenie termočlánku na také miesto, kde sa nebude dotýkať inej súčasti, aby neboli ovplyvnené výsledky merania.

5.8 ZÁZNAMNÍK ÚDAJOV (DATALOGGER)

Výstup zo senzorov je pred vloženíím do počítača a vykresleníím výsledkov potrebné najskôr spracovať. Pomocou zbernej jednotky dát sa sústreďujú údaje zo všetkých snímačov použitých v meracom reťazci. Tieto zariadenia sú kompaktné, prenosné, zvyčajne uložené v blízkosti vykonávaného merania pre dosiahnutie čo najpresnejších výsledkov. Pri zaznamenávaní údajov je kvalita signálu vysielaného senzorom závislá na dĺžke kabeľáže, preto je podstatné túto vzdialenosť pokiaľ možno čo najviac skrátiť.

Laboratóriá Ústavu automobilového a dopravného inžinierstva disponujú univerzálnym modulárnym systémom zberu dát imc CRONOSflex. Toto zariadenie nevyžaduje dodatočnú konštrukciu uloženia a jeho jednotlivé časti je možné pripojiť priamo pomocou zacvakávacieho mechanizmu alebo pomocou sieťového kábla na väčšiu vzdialenosť.

Namerané dáta sú v počítači spracovávané pomocou softvéru imc STUDIO [42].



Obr. 52 Modulárny systém imc CRONOSflex [42]

1 – základná jednotka, 2 – merací modul, 3 a 5 – sieťový kábel RJ45/CAT5,
4 a 6 – ďalšie moduly (možnosť pripojenia na diaľku pomocou sieťových káblov)

6 MERACIA ZOSTAVA V PRAXI

6.1 UNIVERZÁLNOŠŤ POUŽITIA

Ako bolo spomenuté vyššie, model tlmiča je vytvorený podľa rozmerov tlmiča značky RIDEX, modelové číslo 854S0006 (obr. 53). Tento tlmič slúži ako náhradný diel pre vozidlá Škoda Octavia II všetkých motorizácií, ale aj pre nasledovné modely: Volkswagen Beetle, Caddy III a IV, Golf V a VI, Polo IV, Škoda Fabia I a II, Yeti, Seat Leon II, Audi A3 a mnohé iné.

Použitie zvolených snímačov však nie je limitované len na tento druh tlmiča a spomenuté značky a modely vozidiel. Prakticky na všetky tlmiče podobnej konštrukcie je možné inštalovať dané snímače. Jedným z mála limitujúcich faktorov môže byť použitie iných skrutiek na uchytenie tlmiča ku karosérii, k čomu by nesedeli zvolené podložky pre meranie sily, ktorých vnútorný priemer je 8 mm, a teda sú použiteľné pre skrutky uchytenia M8.

Kľúčovým faktorom inštalácie snímačov sú priestorové pomery v oblasti uloženia tlmiča medzi karosériou a kolesom, preto bol pri návrhu meracieho zariadenia kladený dôraz na čo najkompaktnejšiu konštrukciu zvolených snímačov spolu s ich uchytením.



Obr. 53 Tlmič RIDEX 854S0006 [43]

6.2 VONKAJŠIE PODMIENKY MERANIA

Po inštalovaní reťazca snímačov na vozidlo je potrebné dbať na správne zaobchádzanie s nimi. Aj keď sú senzory vybavené krytom s vysokým stupňom ochrany, nebolo by vhodné používať ich pri zlých poveternostných podmienkach, a to najmä v zimnom období, kedy je na cestách prítomný chemický posyp. Rovnako tak je dôležité vyhýbať sa poľným a lesným cestám, ktoré sú v zlom stave, kde by mohlo dôjsť ku poškodeniu snímačov pôsobením hrubých nečistôt, či blata.

Jednotlivé snímače sú, prirodzene, určené k opakovanému použitiu a nesprávne zaobchádzanie ich môže natrvalo poškodiť. Výmena znehodnoteného senzoru by bola finančne náročná, nakoľko ich cena sa pohybuje v stovkách eur.

6.3 JAZDNÉ SKÚŠKY

Pre dosiahnutie požadovaných výsledkov z merania je vhodné do jazdného cyklu zaradiť rôzne režimy prevádzky vozidla. Okrem bežného chodu v meste pri pomalšej jazde cez rôzne typy nerovností (obrubníky, retardéry, nekvalitná vozovka) a na okresných cestách, kde sa automobil pohybuje vyššou rýchlosťou, by bolo vhodné zaradiť do testovacej jazdy aj určité manévry, ktoré dôkladne preveria správanie tlmičov a môžu odhaliť ich poruchy (v prípade, že sa meracie zariadenie využije ako diagnostický prostriedok).

Súčasťou takýchto skúšok by mohli byť nasledujúce úkony: Losí test (auto je vedené konštantnou rýchlosťou a potom je náhle vykonaný vyhýbací manéver do strany okolo prekážky a následný návrat do pôvodnej stopy), prudká akcelerácia a decelerácia. Práve pri brzdení majú tlmiče dôležitú bezpečnostnú funkciu a sledovanie ich správania pri tejto činnosti môže dopomôcť k ich správne nastaveniu, či doladeniu.



Obr. 54 Losí test automobilu Toyota RAV4 [44]

Losí test nie je zaradený do povinných skúšok homologácie nového automobilu, avšak patrí medzi praktické ukazovatele jeho jazdnej dynamiky a dokáže odhaliť slabé stránky vozidla. Na obrázku 54 je záber z testov Toyoty RAV4. Po prekročení hranice rýchlosti 68 km/h sa dostávalo vozidlo na dve kolesá, čo je veľmi nevhodné správanie. Takýto výsledok testu upozorňuje na fakt, že vozidlo je náchylné k prevráteniu nabok, čo je veľmi zlá vlastnosť, ktorá negatívne vplyva na bezpečnosť posádky. Navyše, už aj pri nižších rýchlostiach malo toto SUV sklony k šmykovému správaniu a nestabilite. Pri atakovaní limitov bezpečného prejazdu prekážkou by auto nemalo mať tendenciu sa prevrátiť, ale správať sa nedotáčavo, čo je výsledkom dosiahnutia maximálnej príľnavosti pneumatík k vozovke [44].

ZÁVER

Na základe znalostí charakteristík sústavy odpruženia je možné dopočítať dynamické zaťaženie pôsobiace na koleso, no z dôvodu vplyvu hysterézie, prípadne ďalších činiteľov ako sú premenlivé vonkajšie podmienky, či vlastnosti materiálov, sú výsledky dosiahnuté výpočtom nepresné. Z tohto dôvodu vznikla požiadavka na stanovenie pôsobiacich síl na tlmič priamo za jazdy.

V úvode práce sú stručne zhrnuté základné požiadavky kladené na tlmiče automobilov, spolu s popisom metódy tvorby tlmiacej sily a princípom fungovania. V nasledujúcej časti je vytvorený prehľad konštrukcie jednotlivých základných druhov tlmičov, z ktorých sú odvodené mnohé ďalšie moderné typy a modely, v súčasnosti zvyčajne vybavené určitým spôsobom elektronickej regulácie pre zlepšenie ich vlastností a účinnosti. Záverečná časť rešeršnej časti popisuje metódy merania sily na tlmiči na meracích stavoch (v prípade testovania demontovaných tlmičov), ale aj bezdemontážové testy vykonávané priamo na vozidlách.

Hlavná časť práce je zameraná na vytvorenie meracieho reťazca, ktorého úlohou je získať údaje potrebné pre vykreslenie silových charakteristík tlmiča, predovšetkým jeho silu a polohu. Zvolené snímače sú umiestnené do 3D modelu tlmiča, ktorý je vytvorený v softvéri PTC Creo Parametric. V návrhu sú predstavené aj alternatívne snímače, ktorých parametre sú navzájom porovnávané. Pre kontrolu voľby rozsahu snímača sily bol vykonaný jednoduchý výpočet za pomoci hodnôt získaných zo simulácie jazdy automobilu. V poslednej kapitole sú zhodnotené podmienky použitia navrhutej meracej zostavy, spolu s jej univerzálnosťou.

Získavanie silových charakteristík testovaním tlmiča priamo za jazdy na vozidle v reálnych podmienkach je možné dosiahnuť oveľa presnejších výsledkov merania, čo v konečnom dôsledku prináša hodnovernejšie posúdenie účinkov charakteristík odpruženia na správanie automobilu na vozovke.

POUŽITÉ INFORMAČNÉ 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] BLAŽÁK, Ondřej. *Odpružení a tlumení: Prednáška z predmetu Automobily*. 2020.
- [3] GARAN, Matrin. Tuhosť Mechanického systému translačného a rotačného. *Aplikovaná mechanika* [online]. [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: <http://www.aplikovana-mechanika.sk/index.files/Page1146.htm>
- [4] Products for cars. *zf.com* [online]. [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://www.zf.com/products/en/cars/productfinder/chassis.html?filter=categories:Dampin g%20Systems&filterLang=en>
- [5] Tlmiče pérovania. *Autorozvody.sk* [online]. [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://autorozvody.sk/technicke-clanky/tlmice-perovania>
- [6] Rozdíl mezi plynokapalinovým a kapalinovým tlumičem. *Mjauto* [online]. [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://www.mjauto.cz/rozdil-mezi-plynokapalinovym-a-kapalinovym-tlucicem>
- [7] DIXON, John C. *The Shock Absorber Handbook*. 2nd Edition. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2007. 432 s. ISBN 0-7680-0050-5.
- [8] MARKING, John, Douglas E. BREWER a Robert C. FOX. *Position-sensitive shock absorber*. Uděleno 2001-10-02.
- [9] Volkswagen DCC Adaptive Chassis Control - Design and Function. Manuál [online]. [cit. 2020-12-8]. Dostupné z: <http://www.vwscirocco.es/bricos/manuales/Volkswagen%20DCC%20Adaptive%20Chassis%20Control.pdf>
- [10] DCC (Dynamic Chassis Control). *Autolexicon.net* [online]. [cit. 2020-12-8]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/sk/articles/dcc-dynamic-chassis-control/>
- [11] Tekuté magnety zdokonalia autá aj roboty. *Techbox* [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <https://techbox.dennikn.sk/tekute-magnety-zdokonalia-auta-aj-roboty/>
- [12] Adjustment Guides. *Koni.com* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <http://www.koni.com/en-US/Cars/Technology/Adjustment-Guides/>
- [13] HYPERPRO zadný tlmič. *Eres-racing.sk* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.eres-racing.sk/tlmice-emulsion-hyperpro-pre-honda-10/honda-crf-250-1-rally-17--hyperpro-zadny-tlmic-emulsion-ho02-0ac/>
- [14] JANCO, Marcel. Active Body Control - Aktívne zavesenie kolies. *Autorubik* [online]. 2011 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/active-body-control-aktivne-zavesenie-kolies/#prettyPhoto>

- [15] VINOLAS, Jordi, Joan SAVALL, Jorge BIERA a Xabier CARRERA. *A parametric damper model validated on a track* [online]. 2006 [cit. 2020-12-2]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228871477_A_parametric_damper_model_validated_on_a_track
- [16] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2001, 576 s. ISBN 80-239-3717-0.
- [17] MĚŘENÍ TLUMIČŮ. *Skoda-virt.cz* [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <https://skoda-virt.cz/cz/clanky/technicke-informace/4127-mereni-tlumicu/>
- [18] HEJTMÁNEK, Petr. Měření charakteristik odpružení a tlumení. *Cvičenie 8 z predmetu Automobily*. 2020.
- [19] Rotary to Reciprocal motion. *Eng-tips.com* [online]. [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: <https://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=95728>
- [20] Shock absorber dynamometer. *SportDevices* [online]. [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: <http://www.sportdevices.co.uk/shockabsorber/index.htm>
- [21] Damper Durability Test Systems. *MTS Test and Simulation* [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://test.mts.com/en/products/automotive/damper-test-systems/damper-durability-test-systems>
- [22] Electromagnetic Actuators. *Electronicshub* [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.electronicshub.org/electromagnetic-actuators/>
- [23] Testery tlumičů pérování EUSAMA. *RTE Roboterm* [online]. [cit. 2021-1-10]. Dostupné z: <https://www.rte.cz/produkty/osobni-vozy/testery-tlumicu-perovani-eusama/>
- [24] Diagnostowanie układu zawieszenia pojazdu samochodowego. *Warsztat.pl* [online]. [cit. 2021-1-10]. Dostupné z: <https://warsztat.pl/dzial/8-diagnostyka/artykuly/diagnostowanie-ukladu-zawieszenia-pojazdu-samochodo,54325>
- [25] ČECH, Marek. Analýza vztahu činnosti stanic technické kontroly a bezpečnosti provozu motorových vozidel. Brno: Mendelova Univerzita v Brně, 2015. 56 s.
- [26] Car Suspension Tester. *Jevolauto.com* [online]. [cit. 2021-1-15]. Dostupné z: <https://www.jevolauto.com/suspension-tester/car-suspension-tester>
- [27] ŠINDELÁŘ, Martin. *Sledování technického stavu zavesu kola vozidla*. Brno, 2008. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ivan Mazůrek.
- [28] Audi Workshop Manuals. *Workshop-manuals.com* [online]. [cit. 2021-1-28]. Dostupné z: https://workshop-manuals.com/audi/a3_mk2/running_gear_front-wheel_drive_and_four-wheel_drive/technical_data/checking_shock_absorbers/checking_shock_absorbers_on_shock_tester/
- [29] Monroe Shock Absorber Tester. *Monroe Shock Absorbers* [online]. [cit. 2021-1-30]. Dostupné z: <https://www.monroe.com.au/products/monroe-shock-absorber-tester.html>



- [30] 4-post and 7-post testing. *Zetapvt.com* [online]. [cit. 2021-2-15]. Dostupné z: <https://zetapvt.com/what-is-4-post-and-7-post-testing/>
- [31] JONSON, Oskar a Erik ENDERS. *Correlation Work on Shaker Rig Tests and Simulations -- An investigation of damper, bushing, friction and tire modeling with respect to vertical vibration insulation* [online]. 2016 [cit. 2021-2-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/A-car-placed-on-a-4-post-shaker-rig_fig17_320170656
- [32] Ex Formula 1 Seven Post Rig. *YouTube* [online]. [cit. 2021-2-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Ho0L-CuQkGA>
- [33] The Seven-post Rig. *Fli.com/magazine* [online]. [cit. 2021-2-20]. Dostupné z: <https://fli.com/magazine/328923-tech-fli-a-visit-to-renault-at-enstone-the-seven-post-rig.html>
- [34] Princip činnosti snímačů. *Tenzometricke-snimace.cz* [online]. [cit. 2021-3-20]. Dostupné z: https://www.tenzometricke-snimace.cz/Princip-cinnosti-snimacu-c11_0_1.htm
- [35] Piezoelektrické snímače síly. *E-automatizace.cz* [online]. [cit. 2021-3-20]. Dostupné z: http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmv/sila/sila_piezoelektricke_snimace.htm
- [36] Force Sensors & Load Cells. *HBM Company* [online]. [cit. 2021-3-25]. Dostupné z: <https://www.hbm.com/en/0249/force-sensors-and-force-transducers/>
- [37] NGUYEN, Michal. *Vliv charakteristik tlumiče na jízdní dynamiku*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Petr Hejtmánek.
- [38] Linear Position sensor technologies. *HGS Industries* [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://www.hgsind.com/>
- [39] Connectors and Sensors. *TE Connectivity* [online]. [cit. 2021-4-8]. Dostupné z: <https://www.te.com/usa-en/home.html>
- [40] Viskozita oleja. *Ktoryolejje.top* [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: <http://www.ktoryolejje.top/index.php/viskozita-oleja>
- [41] Kontaktný snímač teploty. *Meratex meracia technika* [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: <https://www.meratex.sk/kontaktny-snimac-teploty-TOPE-243-TTJE-243-TTKE-243/>
- [42] Modular, spatially distributable data acquisition system. *Imc* [online]. [cit. 2021-4-15]. Dostupné z: <https://www.imc-tm.com/products/daq-systems/imc-cronosflex/overview/>
- [43] Shock absorber RIDEX. *Autoteiledirekt.de* [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://cdn.autoteiledirekt.de/thumb?id=8001926&m=0&n=0&lng=sk&rev=94077809>
- [44] ANDREJČÁK, Tomáš. Toyota RAV4: Japonské SUV v losom teste neohúrilo. *Auto.pravda.sk* [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://auto.pravda.sk/poradna/clanok/526298-toyota-rav4-japonske-suv-v-losom-teste-neohurilo/>

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

Skratka	Legenda	Jednotka
a	Amplitúda	[m]
A	Pomerná hodnota zrýchlenia	[-]
a_w	Vážené zrýchlenie vibrácií	[m/s ²]
b	Konštanta translačného tlmenia	[Ns/m]
b_φ	Konštanta torzného tlmenia	[Nms/rad]
B	Pomerné zaťaženie pneumatiky	[-]
C	Kapacita	[F]
EUS	Minimálna hodnota adhézie	[%]
f	Frekvencia	[Hz]
F	Sila	[N]
$F_{1,2,3}$	Sily pôsobiace od tlmiča na karosériu v snímačoch 1, 2 a 3	[N]
F_{max}	Výsledná maximálna sila pôsobiaca na karosériu	[N]
F_{min}	Výsledná minimálna sila pôsobiaca na karosériu	[N]
F_n	Nominálne zaťaženie	[N]
$F(t)$	Odporová sila (v závislosti na čase)	[N]
F_{sD}	Statické zaťaženie	[N]
F_{Smin}	Minimálna prítlačná sila kolesa	[N]
F_{ST}	Statická prítlačná sila kolesa	[N]
F_x	Sila pôsobiaca v osi x	[N]
F_y	Sila pôsobiaca v osi y	[N]
F_z	Sila pôsobiaca v osi z	[N]
F_{zD}	Dynamická normálová sila v pneumatike	[N]
g	Gravitačné zrýchlenie	[m/s ²]
k	Návrhová bezpečnosť	[-]



Skratka	Legenda	Jednotka
kp	Piezoelektrická konštanta	[C/N]
ku	Napät'ová konštanta	[V/N]
$M_{1,2,3x}$	Momenty od síl $F_{1,2,3}$ v osi x	[Nm]
$M_{1,2,3y}$	Momenty od síl $F_{1,2,3}$ v osi y	[Nm]
$M(t)$	Odporový moment (v závislosti na čase)	[Nm]
M_x	Celkový moment v osi x	[Nm]
M_y	Celkový moment v osi y	[Nm]
Q	Náboj	[C]
r_{1x}	Rameno sily F_1 k osi x	[m]
r_{1y}	Rameno sily F_1 k osi y	[m]
U	Elektrické napätie	[V]
$v, x'(t)$	Rýchlosť	[m/s]
v_{max}	Maximálna rýchlosť	[m/s]
z	Zdvih	[m]
$\varphi'(t)$	Uhlová rýchlosť torzného tlmiča	[rad/s]

Skratka	Legenda
<i>ABC</i>	Active Body Control
<i>ABS</i>	Antiblokovací systém
<i>CAD</i>	Computer-aided design (Počítačom podporovaný návrh)
<i>DCC</i>	Dynamic Chassis Control (Systém adaptívneho podvozku)
<i>DCD</i>	Displacement Conscious Damper
<i>EMA</i>	Electromagnetic actuator (Elektromagnetický akčný člen)
<i>ESP</i>	Elektronický stabilizačný systém
<i>EUSAMA</i>	European Shock Absorber Manufacturer Association
<i>IP</i>	International Protection Rating (Stupeň ochrany)
<i>LC obvod</i>	Rezonančný obvod
<i>LVIT</i>	Linear Variable Inductance Transducer
<i>LVTD</i>	Linear Variable Differential Transformer
<i>PSD</i>	Position-Sensitive Damper (Polohovo citlivý tlmič)
<i>SUV</i>	Sport Utility Vehicle
<i>TCS</i>	Traction Control System (Systém kontroly trakcie)



ZOZNAM PRÍLOH

- I: Tester odpruženia Monroe
- II: Datasheet piezoelektrického snímača sily
- III: Datasheet tenzometrického snímača sily
- IV: Datasheet LVIT snímača
- V: Datasheet lankového potenciometra
- VI: Datasheet termočlánku