

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2001

Pavel Svárovský

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojů průmyslové dopravy

Obor

Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření

Kolové dopravní a manipulační stroje

BEZDEMONTÁŽNÍ DIAGNOSTIKA ZÁVĚSŮ KOL

**WHEEL SUSPENSION DIAGNOSTICS WITHOUT
DISMANTLING**

KSD – 400

Pavel Svárovský

Vedoucí diplomové práce:	prof. Ing. Štěpán Beneš, CSc
Konzultant diplomové práce:	doc. Dr. Ing. Pavel Němeček

Rozsah práce:

Počet stran: 55

Počet obrázků : 23

Počet tabulek: 7

Počet příloh: 5

ANOTACE

Diplomová práce obecně popisuje způsoby testování automobilových závěsů kol a především tlumičů odpružení. V teoretické části je obecně popsáno odpružení vozidel, definován pojem tlumič odpružení. Dále jsou vysvětleny základy diagnostiky automobilových závěsů kol. Praktická část obsahuje celkové hodnocení problematiky, zhodnocení řešení testerů VUT Brno a vlastní návrh testu.

ANNOTATION

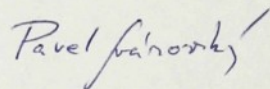
The Diploma Work deals with the test methods of car wheel suspensions and shock absorbers especially. The theoretical part describes the spring mounting of vehicles, and it defines the term of a shock absorber. Subsequently, the principles of car wheel suspension diagnostics are clarified. The experimental part includes the general evaluation of the matter, the evaluation of the VUT Brno testers' solution and the test project itself.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 25.5.2001

Pavel Svárovský

Handwritten signature of Pavel Svárovský in cursive script.

PROHLÁŠENÍ K VYUŽÍVÁNÍ VÝSLEDKŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Beru na vědomí, že si svou diplomovou práci mohu vyzvednout v Univerzitní knihovně TUL po uplynutí pěti let po obhajobě.

Datum: 25.5.2001

Podpis: *Pavel Fraňoušek*

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří prof. Ing. Štěpánu Benešovi CSc. za odborné vedení diplomové práce a doc. Dr. Ing. Pavlu Němečkovi za přínosné konzultace. Dále děkuji pracovníkům firmy Palas Grand s.r.o. za možnost měření na jejich testeru.

Zvláštní poděkování patří rodičům, kteří mi umožnili studium na TUL.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Pavel Svárovský**

obor **Konstrukce strojů a zařízení**

zaměření **Kolové dopravní a manipulační stroje**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

BEZDEMONTÁŽNÍ DIAGNOSTIKA ZÁVĚSŮ KOL

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

Diagnostika tlumičů a závěsů kol osobních vozidel je významným prvkem bezpečnosti jízdy.

Proveďte:

1. Celkové hodnocení daného problému včetně orientačního průzkumu vybavení středních a malých servisních organizací.
2. Posouzení řešení prototypů testerů VUT Brno.
3. Alternativní ideové řešení testeru s možností využití běžně dostupného měřicího zařízení.
4. Návrh zobecněného dynamického modelu závěsu pro experimentální modální analýzu.
5. Návrh možnosti měření (ověření) dvoukanalového měření zrychlení za jízdy vozidla nebo na válcové brzdě.
6. Ověření možnosti orientačního měření vibrací vybraného profesionálního testeru s event. využitím metody provozních tvarů kmitů

V 33/01 S

KSD/KDM
55 p., 5 vol. příl.

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva: cca 40 stran , výsledky měření
- grafické práce:

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

MAZŮREK, J.: Bezdemontážní diagnostika závěsu. Habilitační práce. VUT Brno 1999.

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Štěpán Beneš, CSc

Konzultant diplomové práce: doc. Dr. Ing. Pavel Němeček



prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ludvík Prášil, CSc.
děkan

V Liberci dne 31. 10. 2000

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

OBSAH :

Seznam použitých symbolů	9
ÚVOD	11
CÍLE	13
TEORETICKÁ ČÁST	14
1. Odpružení vozidel	14
1.1 Hodnocení kmitavých vlastností vozidel.....	14
1.1.1 Jízdní pohodlí	14
1.1.2 Bezpečnost jízdy, namáhání vozovky	15
1.2 Typy odpružení vozidel	16
2. Tlumiče odpružení	17
2.1 Definice tlumiče	17
2.2 Konstrukce tlumičů odpružení	17
2.3 Funkce tlumičů odpružení	18
2.4 Charakteristiky tlumící síly	18
2.4.1 Symetrická charakteristika.....	18
2.4.2 Nesymetrická charakteristika.....	19
2.4.3 Charakteristika suchého tření	20
3. Dynamické modely odpružení	21
4. Hodnocení kmitání soustav	24
4.1 Kmitočtová analýza.....	24
4.2 Experimentální modální analýza	24
5. Diagnostika automobilových podvozků	26
5.1 Rozdělení diagnostických metod	26
5.2 Bezdemontážní diagnostické systémy	27
5.2.1 Impulsní dokmitový systém.....	27
5.2.2 Rezonanční amplitudový systém	29
5.2.3 Rezonanční adhezní systém	31
6. Bezdemontážní testery v praxi.....	33
6.1 TriTec Diagnostic System	33
6.2 TriStar Shock Tester.....	34
6.3. Zkušební stolice BOGE – TriTest.....	35

PRAKTICKÁ ČÁST	36
7. Problematika bezdemontážní diagnostiky	36
7.1 Hodnocení teorie	36
7.2 Diagnostika demontovaného tlumiče	36
7.3 Bezdemontážní diagnostika tlumiče	37
8. Vybavenost servisních organizací	38
8.1 Zájem o testování tlumičů	39
9. Hodnocení testerů VUT Brno	40
9.1 Hodnocení TriTec Diagnostic Systemu	40
9.2 Hodnocení TriStar Shock Testeru	41
9.3 Hodnocení zkušební stolice BOGE – TriTest	42
10. Ideový návrh řešení testeru	44
10.1 Impulsní dokmitový test	44
10.2 Rezonanční amplitudový test	47
10.2.1 Konstrukce a umístění testeru	47
10.2.1.1 Návrh odpružení plošiny	48
10.2.1.2 Použitý budič	48
10.2.2 Dynamický model a popis rovnicemi	49
10.2.3 Princip měření	50
10.2.4 Způsoby měření a hodnocení výsledku	51
ZÁVĚR	53
Seznam použité literatury	55

- Seznam příloh:**
1. Zkušební protokol z testeru SACHS 200 CSD
 2. Časová závislost zrychlení odpružené a neodpružené hmoty
 3. Přístroj MICROLOG CMVA 10
 4. Fotografie měření analyzátozem MICROLOG CMVA 10
 5. Náčrt plošiny navrhovaného testeru

Seznam použitých symbolů

$Z_k, Z_k(t)$	[N]	svislé zatížení kola
$F_{dyn}, F_{dyn}(t)$	[N]	dynamická síla mezi kolem a vozovkou (plošinou)
$\bar{Z}_k$	[N]	střední hodnota svislého zatížení kola
$Z_{k_{STAT}}$	[N]	statické svislé zatížení kola
F_T	[N]	tlumící síla
t	[s]	čas
v	[m.s ⁻¹]	relativní rychlost stlačování (roztahování) tlumiče
K_t	[N]	koeficient (síla) suchého tření
m	[kg]	hmotnost kmitající hmoty
m_0	[kg]	redukována hmotnost kmitajících částí testeru
m_1	[kg]	hmotnost neodpružených dílů na kole
m_2	[kg]	podíl hmotnosti odpružené hmoty na jedno kolo
m_{1i}	[kg]	hmotnost neodpružených dílů na i-tém kole
m_{2k}	[kg]	hmotnost karoserie (odpružené hmoty)
k	[N.m ⁻¹]	tuhost pružiny
k_0	[N.m ⁻¹]	redukována tuhost pružiny testeru
k_1	[N.m ⁻¹]	radiální tuhost pneumatiky
k_2	[N.m ⁻¹]	tuhost zavěšení kola (hlavní pružiny)
k_{1i}	[N.m ⁻¹]	radiální tuhost pneumatiky i-tého kola
k_{2i}	[N.m ⁻¹]	tuhost pružin zavěšení i-tého kola
b	[N.s.m ⁻¹]	součinitel tlumení
b_k	[N.s.m ⁻¹]	součinitel kritického tlumení
b_1	[N.s.m ⁻¹]	součinitel tlumení pneumatiky
b_2	[N.s.m ⁻¹]	součinitel tlumení tlumiče
b_{1i}	[N.s.m ⁻¹]	součinitel tlumení pneumatiky i-tého kola
b_{2i}	[N.s.m ⁻¹]	součinitel tlumení tlumiče na i-tém kole
J_{z2}	[kg.m ²]	moment setrvačnosti odpružené hmoty k příčné ose
ξ	[-]	měrný útlum
ξ_2	[-]	měrný útlum odpružené hmoty
y	[m]	okamžitá výchylka kmitající hmoty
y_1	[m]	okamžitá výchylka neodpružené hmoty

y_2	[m]	okamžitá výchylka odpružené hmoty
y_1, y_2	[m]	první dvě minima výchylky odpružené hmoty
δ	[-]	logaritmický dekrement útlumu
$h(t)$	[m]	okamžitá hodnota budícího zdvihu
F_{st}	[N]	statická přitlačná síla mezi kolem a plošinou
EUS	[%]	relativní minimální přitlak měřený metodikou EUSAMA
Y_1, Y_2	[m.s ⁻²]	první dvě maxima amplitud zrychlení odpružené hmoty
ω	[s ⁻¹]	úhlová frekvence
ω_0	[s ⁻¹]	vlastní úhlová frekvence

ÚVOD

Rychlý celosvětový rozvoj motorizace a zdokonalující se konstrukce automobilů kladou v současné době vysoké nároky nejen na samotný provoz motorových vozidel, ale také na oblasti, které s provozem úzce souvisí. Mezi tyto oblasti lze řadit například stav pozemních komunikací, organizaci a bezpečnost silničního provozu apod. Mezi důležité faktory ovlivňující provoz motorových vozidel však patří také stav automobilového opravárenství, zejména pak vybavení servisních organizací potřebnými diagnostickými prostředky a jejich praktické využití. Technologie výroby automobilů, stejně jako rychle se měnící konstrukce vozidel, vyžadují od opravárenství vysokou flexibilitu při vybavování servisů diagnostickými zařízeními.

Pojmem diagnostika je rozuměno bezdemontážní posuzování technického stavu vozidla (tedy bez nutnosti rozebrání), které do jisté míry umožňuje odhadovat a předvídat následný vývoj technického stavu vozidla a tím umožňuje určit pravděpodobnou dobu použití součástí, ústrojí či vozidla v provozuschopném stavu.

Technická diagnostika je nejčastěji užívána při zjišťování technického stavu a funkčnosti systémů, které bezprostředně ovlivňují bezpečnost jízdy, ekologii či hospodárnost provozu. Provádí se např. diagnostika technického stavu a funkce motoru, podvozku a karoserie, kontrola bezpečnostních pásů, hlavních světlometů, kontrola stavu a účinnosti brzd, vyvážení kol a diagnostika tlumičů odpružení, které se věnuje tato práce.

Správně fungující tlumiče odpružení nejsou jen záležitostí jízdního komfortu, ale především aktivní bezpečnosti jízdy. Účinnost tlumičů se nesnižuje náraz, ale postupně, což má za následek skutečnost, že uživatel vozidla postupně uvyká zhoršující se kvalitě stavu vozu, včetně tlumení a zanedbává kontrolu svého vozu. Důsledky zanedbávání pravidelné kontroly technického stavu automobilu jsou zřejmé: prodlužuje se brzdná dráha automobilu, zhoršuje se stabilita v zatáčkách a na nerovné silnici. Zjišťování stavu tlumičů odpružení není legislativně podchyceno, narozdíl např. od kontroly stavu brzdové soustavy nebo měření vzorku pneumatiky při každé technické kontrole v STK, a provádění pravidelné kontroly funkce tlumičů

je tedy závislé pouze na majiteli automobilu. Zájem o testování tlumičů každoročně roste, jak vyplývá i ze statistických výsledků firmy Elit, která toto testování nabízí (zdarma). Avšak počet testovaných automobilů je v celkovém měřítku statisticky nevýznamný. Zároveň ze statistiky vyplývá, že poměrně velké procento testovaných vozů má tlumiče, které mají sníženou funkčnost, přičemž u nezanedbatelného procenta vozidel se vyskytují tlumiče zcela nefunkční.

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
počet otestovaných vozidel	1432	3020	23261	24480	20066	40201	44578	47989
vyhovující tlumiče	55%	40%	49%	52%	57%	59%	65%	61%
snížená funkčnost tlumičů	34%	45%	36%	37%	32%	29%	28%	29%
nefunkční tlumiče	11%	15%	15%	11%	11%	12%	7%	10%

Nevyřešeným problémem zůstává fakt, že většina diagnostických zařízení používaných v opravárenství testuje v podstatě celý závěs kola a vyhodnocuje ho jako stav tlumiče odpružení. V koncovém hodnocení však nevyhovující stav závěsu nemusí nutně znamenat špatný stav tlumiče.

CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je:

- přinést ucelený pohled na problém bezdemontážní diagnostiky tlumičů odpružení
- provést průzkum vybavenosti středních a malých servisních organizací bezdemontážními testery automobilových závěsů kol a zjištění, zda je o tuto techniku zájem
- navrhnout konstrukční řešení neprofesionálního testeru, který by byl využitelný pro výuku (pro samostatné měření při výuce a zpracovávání semestrálních prací)

TEORETICKÁ ČÁST

1. ODPRUŽENÍ VOZIDEL

Stabilita vozu při jízdě a také jeho bezpečné řízení vyžaduje, aby kola vozidla, vychýlená vlivem nerovností vozovky, nekmitala a aby opět co nejdříve zaujala rovnovážnou polohu. Rozkmitání kol se proto musí utlumit tak, aby kola byla trvale ve styku s vozovkou a aby se vibrace nadměrně nepřenášely do podvozku a do karosérie vozidla. Velké vibrace karosérie dynamicky namáhají podvozek i karosérii, jsou zdrojem hluku, mohou vyvolat odskakování kola a tím snížit řiditelnost vozidla. Zároveň způsobují nepříjemné fyziologické pocity osob ve voze, zvyšují jejich únavu a u řidiče snižují schopnost rychlé reakce, čímž druhotně snižují bezpečnost provozu.

1.1 Hodnocení kmitavých vlastností vozidla

Kmitavé vlastnosti automobilu se běžně posuzují podle dvou měřítek:

- jízdní pohodlí – rozhodující je svislé zrychlení, které působí na řidiče a cestující
- jízdní bezpečnost a namáhání vozovky – důležité je znát dynamickou sílu mezi kolem a vozovkou.

1.1.1 Jízdní pohodlí

Cestující v dopravních prostředcích jsou vystavováni otřesům a vibracím, které mohou negativně ovlivňovat funkce organismu a také způsobovat zdravotní problémy. Působením vibrací a otřesů dochází u řidiče k únavě, která ovlivňuje jeho výkon a zpomaluje reakční schopnosti, čímž se zvyšuje nebezpečí vzniku dopravní nehody. U kmitání automobilů je důležité zejména tzv. celkové kmitání, tj. vibrace, které se přenášejí ze sedadla na osobu, která na něm sedí.

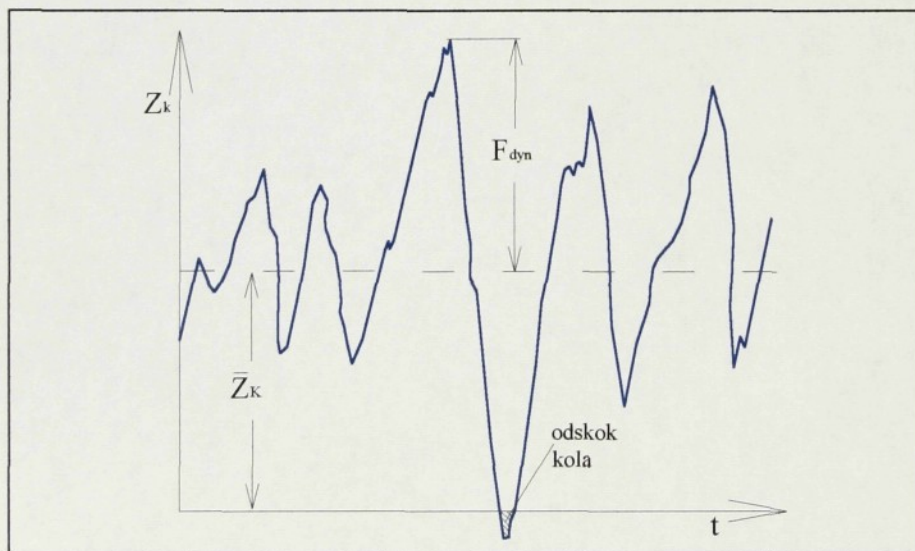
Působením vibrací dochází k vynucenému kmitání některých částí lidského organismu nebo dokonce organismu celého. Záleží přitom zejména na fyzikálních vlastnostech vibrací (intenzita, frekvence) a způsobu jejich přenosu na organismus. Pokud je budící frekvence blízká vlastní frekvenci některých důležitých orgánů a

částí lidského organismu případně i celého těla, dochází k závažným, negativně působícím, rezonančním jevům. /17/

U motorových vozidel je možno za rozhodující považovat vibrace ve svislé ose. Vlastní frekvence lidského organismu, pro tento směr vibrací, leží mezi 4 až 6 Hz. Podvozky automobilů, s ohledem na požadavek nízkého kmitočtu odpružených hmot (lidskému organismu nejlépe vyhovuje ve svislém směru frekvence 1-2 Hz tzv. kročivé chůze), jsou odpruženy poměrně měkce.

1.1.2 Bezpečnost jízdy, namáhání vozovky

Pro bezpečnost jízdy (ovladatelnost vozidla) a namáhání vozovky je důležitou veličinou svislá síla působící mezi pneumatikou a vozovkou. Časový průběh svislého zatížení kola $Z_k(t)$ při pohybu automobilu po vozovce s nahodilými nerovnostmi má také náhodný charakter.



Obr. 1, Časový průběh svislého zatížení kola

Síla kolísá kolem určité střední hodnoty $\bar{Z}_k$, která je rovna statickému zatížení kola.

$$\bar{Z}_k(t) = Z_{k_{stat}} \quad (1)$$

Svislé zatížení kola $Z_k(t)$ je dáno součtem statického zatížení $Z_{k_{stat}}$ a dynamické síly působící mezi kolem a vozovkou F_{dyn} .

$$Z_k(t) = Z_{k_{stat}} \pm F_{dyn}(t) \quad (2)$$

Na tomto principu je založena metodika testování tlumičů *EUSAMA*, která bude podrobněji vysvětlena v dalším.

1.2 Typy odpružení vozidel

Rozlišují se čtyři základní typy odpružení:

- Konvenční
- Adaptivní
 - měkké (pohodlné)
 - střední
 - tvrdé (sportovní)
- Poloaktivní
- Aktivní

Pro konvenční odpružení vozidla se používají klasické neřízené tlumiče.

Adaptivní systémy jsou doplňkem klasického odpružení, tlumiče lze seřizovat ve třech stupních řidičem nebo automaticky. Jakmile je režim nastaven, přejde tlumič ke konvenčnímu chování.

Poloaktivní systémy používají některého typu řízeného tlumiče, regulaci podle daného algoritmu řízení. /18/

Aktivní systémy využívají navíc ještě přídavných pružin a dodatečný tlumič s malým základním tlumením. /16/

2. TLUMIČE ODPRUŽENÍ

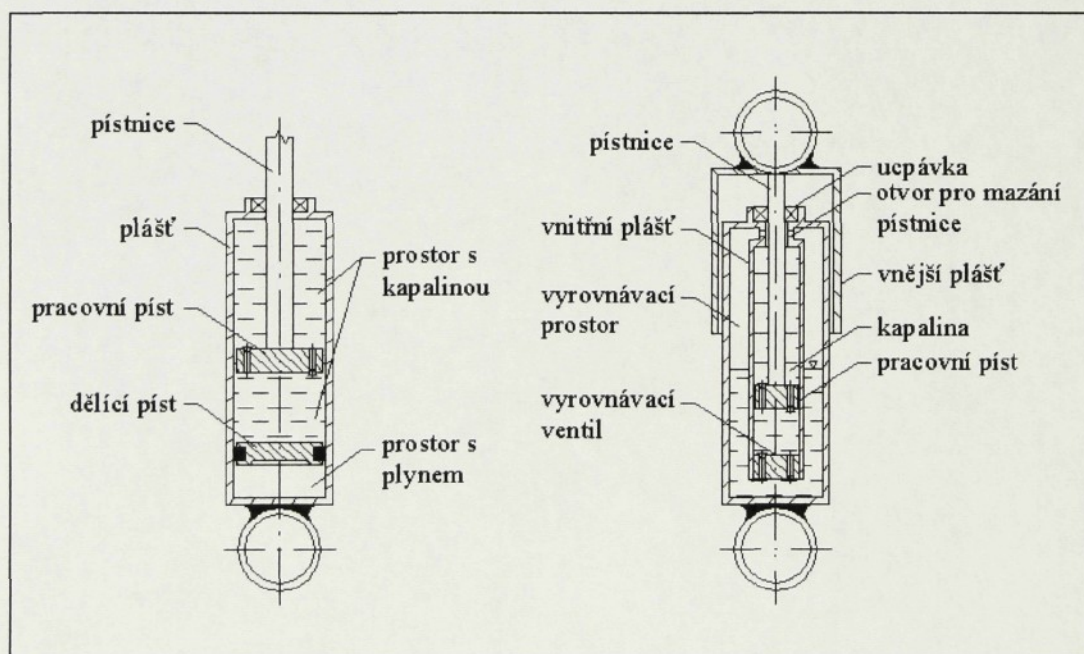
2.1 Definice tlumiče

Tlumič kmitů, amortizér - *stroj* . zařízení zmenšující, popř. rušící mechanické kmity (torzní kmity klikového hřídele motoru, kmitání kol nebo nápravy vozidla) a nárazy strojů a jejich částí (tlumič pérování u vozidel). V tlumiči kmitů se energie kmitů spotřebovává třením (tlumiče třecí mechanické, hydraulické, hydropneumatické). V mechanických zařízeních se k tlumení používají obvykle pružiny a péra./21/

Vozidlový tlumič je součást závěsu kola vozidla, tlumí rychlost relativních pohybů karoserie a nápravy a zmenšuje tak frekvenci a amplitudu rozkmitání karoserie. /1/

2.2 Konstrukce tlumičů odpružení

V současné době se u osobních automobilů běžně používají teleskopické tlumiče, které jsou jednovlášťové nebo dvouvlášťové, viz. obrázek 2.



Obr. 2, Schéma jednovlášťového a dvouvlášťového tlumiče

2.3 Funkce tlumičů odpružení

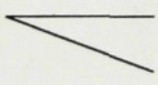
Vozidlový tlumič je zároveň tlumičem nárazů i vibrací. Obě zmíněné funkce tlumiče vyžadují, aby tlumič odebíral energii mechanickou a měnil ji v jinou formu energie, v tomto případě energii tepelnou. Pro správnou funkci tlumičů tedy musí být zajištěn také odvod tepla. Ojediněle je kinetická energie mařena třením (třecí tlumiče), většinou je však tato energie mařena hydraulickým odporem při průtoku oleje vhodně navrženými škrtkovými ventily. Proto se tyto tlumicí elementy běžně označují jako hydraulické tlumiče odpružení.

2.4 Charakteristiky tlumicí síly

Zpravidla jsou tlumiče konstruovány jako dvoučinné, což znamená, že vyvozují tlumicí sílu při stlačování i při roztahování. Velikost obou sil ovšem nebývá shodná. Tlumicí síla při stlačování bývá nižší pro dosažení lepšího pohlcení vlivu nerovnosti. Tlumicí síla ve fázi roztahování tlumiče je vyšší z důvodu rychlého utlumení zákmitů.

Závislost tlumicí síly F_T na relativní rychlosti v většinou bývá nelineární.

Charakteristika tlumicí síly F_T může být:

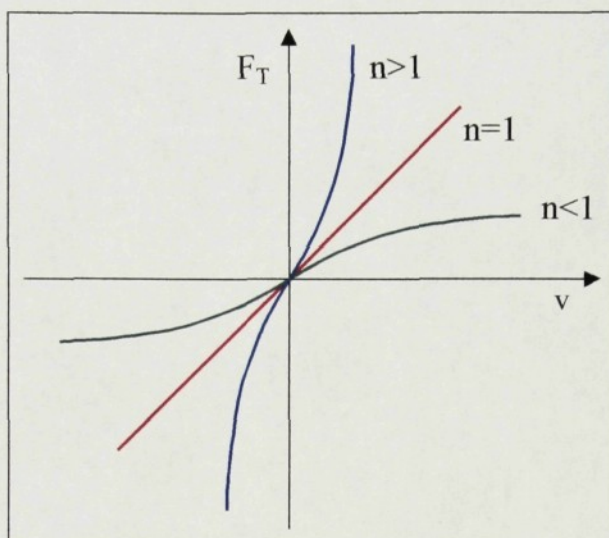
- symetrická 
 - progresivní
 - degresivní
- nesymetrická
- třecí

2.4.1 Symetrická charakteristika

Pro symetrickou charakteristiku platí

$$F_T = \text{sign}(v) \cdot b \cdot v^n \quad (3)$$

Pokud je exponent $n=1$ je tlumení označováno jako lineární, pro $n>1$ jde o tlumení progresivní a pro $n<1$ degresivní.



Obr. 3, Symetrická charakteristika

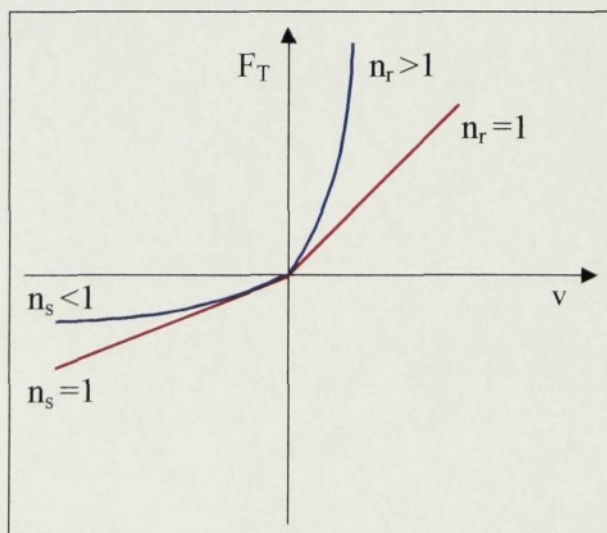
2.4.2 Nesymetrická charakteristika

Pro nesymetrickou charakteristiku platí

$$F_T = b_r \cdot v^{n_r} \quad \text{pro } v > 0 \quad (4)$$

$$F_T = -b_s \cdot |v|^{n_s} \quad \text{pro } v < 0 \quad (5)$$

kde index r platí pro roztahování tlumiče a index s pro stlačování tlumiče.



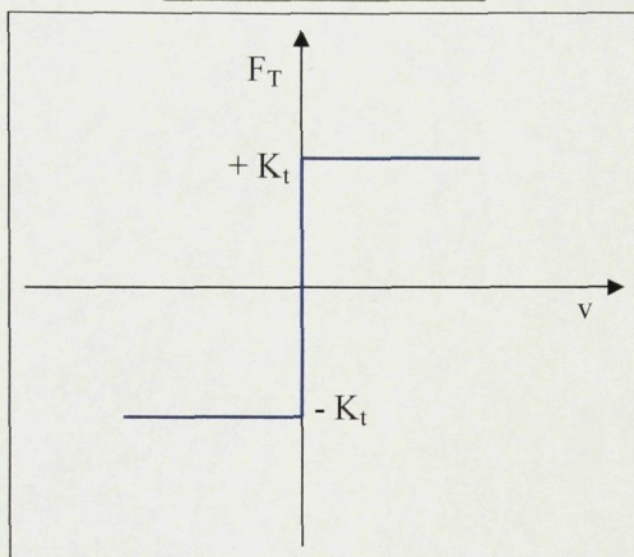
Obr. 4, Nesymetrická charakteristika

2.4.3 Charakteristika suchého tření

Působí-li v soustavě suché tření, pak tlumící síla je určena vztahem

$$F_T = |K_t| \cdot \text{sign}(v)$$

(6)

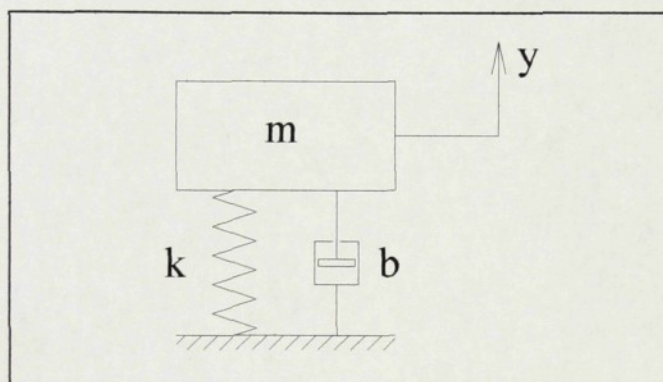


Obr. 5, Třecí charakteristika

3. DYNAMICKÉ MODELY ODPRUŽENÍ

Pro možnost analýzy problematiky tlumení kmitajícího systému podvozku automobilu musí být předem sestaven dynamický model, který co nejvíce odpovídá skutečnosti nebo je alespoň dostatečně přesný v rámci zkoumané problematiky.

Nejjednodušší dynamický model je model (obrázek 6), který charakterizuje systém s jedním stupněm volnosti.



Obr. 6, Dynamický model s jedním stupněm volnosti

Je představován hmotou m , tuhostí pružiny k a součinitelem tlumení b . Výchylka hmoty z rovnovážné polohy je označena y . Volné kmitání této soustavy je řešením pohybové rovnice

$$m \cdot \ddot{y} + b \cdot \dot{y} + k \cdot y = 0 \quad (7)$$

Pro posouzení kvality tlumení se definuje koeficient označovaný jako poměrný útlum ξ . Jde o poměr součinitelů lineárního a kritického tlumení.

$$\xi = \frac{b}{b_k} \quad (8)$$

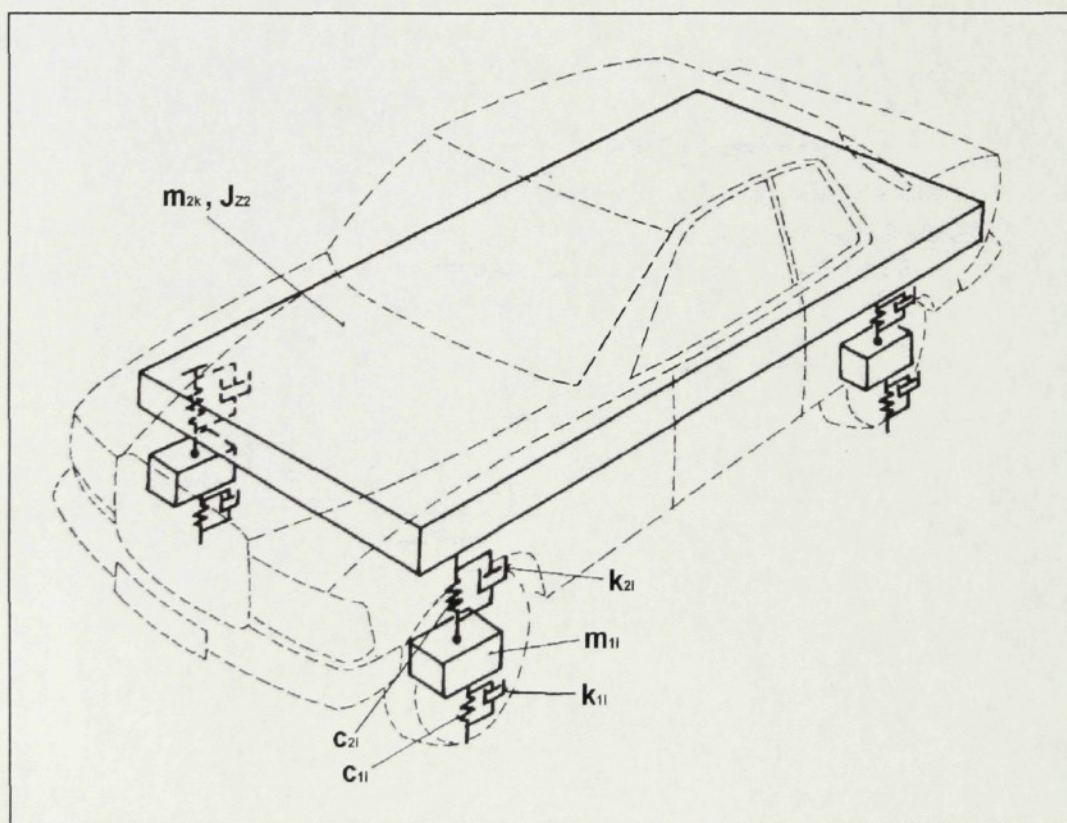
kde $b_k = 2\sqrt{k \cdot m}$

Po dosazení (rov. 9) tedy platí, že poměrný útlum a tím i kvalita tlumení není závislý pouze na tlumení.

$$\xi = \frac{b}{\sqrt{4 \cdot k \cdot m}} \quad (9)$$

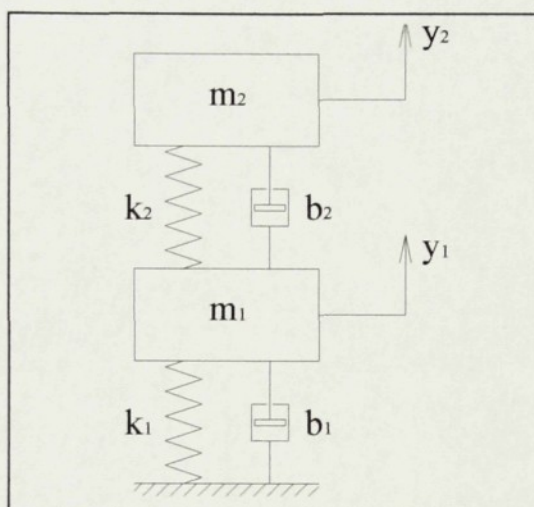
Tento model je ovšem nepříjemně nepřesný na to, aby jím bylo možno nahradit skutečné odpružení automobilu.

Poměrně realistický dynamický model je znázorněn na obrázku 7. Jedná se o jednoduchý prostorový dynamický model se šesti stupni volnosti, kde karosérie je nahrazena deskou (odpruženou hmotou) o hmotnosti m_{2k} , která má moment setrvačnosti k příčné ose J_{z2} . Kola jsou nahrazena čtyřmi hmotami m_{1i} ($i=1,2,3,4$). Jejich zavěšení je provedeno pružinami s tuhostmi k_{2i} a tlumiči s koeficienty tlumení b_{2i} . Dále jsou zde znázorněny radiální tuhosti pneumatik k_{1i} a jejich tlumení b_{1i} . Tento model představuje relativně jednoduchý, ale pro výpočet značně komplikovaný systém [14].



Obr.7, Prostorový dynamický model

Skutečnost, že většina diagnostických zařízení provádí testování tlumičů postupně na jednotlivých kolech, zohledňuje dynamický model závěsu jednoho kola, který je znázorněn na obrázku 8.



Obr. 8, Dynamický model jednoho závěsu kola

4. HODNOCENÍ KMITÁNÍ SOUSTAV

V provozu na všechny stroje, dopravní prostředky, stavby atd. působí dynamické síly, které vyvolávají vibrace. Dynamické charakteristiky musí být vhodně popsány tak, aby z nich bylo možno vyhodnotit jejich vliv na provozuschopnost, účinnost a další parametry objektu.

4.1 Kmitočtová analýza

Měřením a analýzou signálů lze provést **kmitočtovou analýzu** vibrací zkoumaného objektu. K hodnocení vibrací může sloužit kmitočtové spektrum, což je závislost amplitud na kmitočtu. Nevýhodou ovšem je, že výsledky těchto měření a analýzy jsou platné pouze v odpovídajících pracovních nebo provozních podmínkách. Ve skutečnosti jsou kmitočtová spektra výsledkem násobení kmitočtových přenosových charakteristik a spekter budících sil. Proto jsou informace o dynamických charakteristikách mechanických soustav značně omezené kvalitou i kvantitou.

4.2 Experimentální modální analýza

Jiným způsobem hodnocení kmitání je **experimentální modální analýza**. Jedná se o moderní obor dynamiky, který k popisu kmitavých vlastností a kmitavého chování inženýrských konstrukcí, resp. jejich částí (soustavy), užívá možnosti rozkladu složitého kmitavého procesu na dílčí, tzv. modální příspěvky. Každý příspěvek je charakterizován modálními parametry, kterými jsou:

- modální frekvence
- modální tlumení
- modální tvar kmitu

V tomto případě se kmitočtová charakteristika získává jako poměr odezvy k buzení v závislosti na kmitočtu. Ke zjištění poměru odezvy a buzení je nutno použít dvoukanálový analyzátor. Zjišťování kmitočtových charakteristik eliminuje závislost na spektrech budících sil. Získané výsledky zcela popisují dynamické charakteristiky zkoumaných objektů. Základní předpoklad tkví v tom, že se složitá mechanická soustava chová jako kombinace určitého počtu soustav s jedním stupněm volnosti. K popisu celkových příspěvků jednotlivých módů je potom možno

užít jedinou modální souřadnici. Modální analýza je tedy procesem zjišťování modálních parametrů, příslušejících všem módům kmitání určité mechanické soustavy v uvažovaném kmitočtovém rozsahu. Pro možnost použití modální analýzy je nutno předpokládat tyto vlastnosti mechanických soustav:

- kauzualita (soustavy se nepohybují, dokud nejsou buzeny)
- časová invariantnost (parametry soustav se s časem nemění)
- stabilita (po ukončení budících účinků dozní i pohyb soustavy)
- linearita (platí princip superpozice a homogenita)

5. DIAGNOSTIKA AUTOMOBILOVÝCH PODVOZKŮ

Pro zajištění co nejvyšší bezpečnosti a hospodárnosti silničního provozu je požadována pravidelná kontrola technického stavu podvozku osobního automobilu. Kromě statického hodnocení (nastavení geometrie) je nutné kontrolovat též funkci celého mechanismu závěsu kol také v dynamických podmínkách. Zatím však není propracována metodika, která by vedla k uspokojivému řešení tohoto problému. Důvod tkví mimo jiné v tom, že konstrukční provedení závěsů kol se často značně liší podle výrobce a typu vozidla. Proto je velmi složité vytvořit jednotnou metodiku testu. Nejdůležitější součástí závěsů kol se stávají, s ohledem na životnost, tlumiče odpružení. Z tohoto důvodu je u nich důležitá častější kontrola funkčnosti. Metody testování podvozků se stále zdokonalují společně s vývojem automobilů a jejich konstrukčním řešením. V zásadě se metody, respektive testery které jsou jejich nástrojem, dělí dle způsobu vytváření budících impulsů pro vlastní hodnocení závěsu kola:

- Aktivní - rozkmitání kola periodickým zdvihem měřící plošiny
- Pasivní - je vytvořen pouze jeden impuls zhoupnutím karosérie

5.1 Rozdělení diagnostických metod

Přehled běžně užívaných diagnostických metod hodnocení technického stavu tlumičů je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1, Metody hodnocení technického stavu tlumičů/10/

Metoda testu	Hodnotící kritérium	Zkušební technika	Měřená veličina	Příklad testeru
Měření na demontovaném tlumiči	Úbytek tlumicí síly	Klikový mechanismus	Tlumicí síla	Motex
		Hydraulický pulsátor		Schenck Hydropuls
Impulsní dokmitový bezdemontážní test	Měrný útlum odpružené hmoty	Brzdná plošina	Přítlačná síla kola k plošině	HEKA Univers, Sherpa PPS 400
		Pád nápravy	Pohyb karosérie	KONI
		Ruční rozhoupání		M-Tronic, TriStar Shock Tester
Aktivní rezonanční bezdemontážní test amplitudový	Rozkmit pomocné hmoty testeru	Rezonanční test na vlastním kmitočtu testeru	Pohyb pomocné hmoty testeru (dráha, zrychlení)	BOGE, Sachs 200, CORGHI Sapiens, TriTest Kit
Aktivní rezonanční bezdemontážní test adhezni	Relativní úbytek přítlačné síly, kmitočtová charakteristika	Rezonanční test na vlastním kmitočtu nápravy	Přítlačná síla kola k plošině	Schenck Di Tec FP30, Beissbarth S-T7000, TriTec Diagnostic

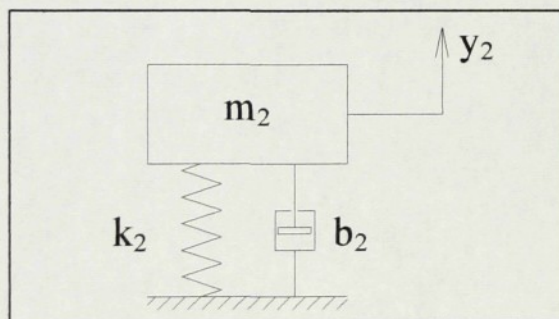
5.2 Bezdemontážní diagnostické systémy

Bezdemontážní testování závěsu kola se v současné době stává poměrně rozšířenou diagnostikou pro rychlé posouzení technického stavu vozidla. Tento druh diagnostiky má řadu nesporných výhod, na druhé straně ovšem skrývá také řadu nevýhod. Nevýhodami se jeví především to, že není možné změřit tlumič v jeho provozních stavech a že všechny ostatní části podvozku vozidla ovlivňují výsledek měření tlumiče a to mnohdy negativně, což se projeví v celkovém výsledku testu.

Hlavní výhodou je pak především rychlost bezdemontážního testování (odpadá nutnost demontáže tlumiče) a také nižší ceny testovacích zařízení.

5.2.1 Impulsní dokmitový systém

Impulsní dokmitový tester patří mezi systémy pasivní. Tester pracuje na principu rozhoupání karoserie vozidla, kdy se odpružená hmota vozidla vybudí ve svislém směru a následně dojde k samovolnému útlumu, který je vyhodnocován.



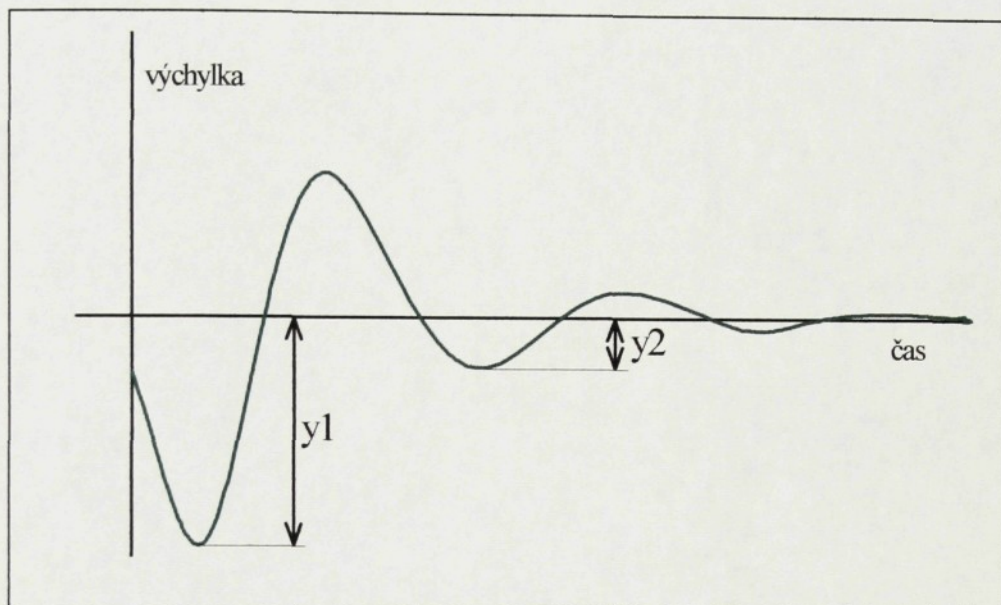
Obr. 9, Dynamický model pasivního dokmitového testeru

Tento systém je popsán dynamickým modelem, viz. obrázek 9, kde m_2 představuje podíl odpružené hmoty na testované kolo.

K rázovému vybudení, které vyvolá svislé kmitání odpružené hmoty (karoserie), lze využít některý z následujících způsobů:

- manuální stlačení vozu nad měřeným tlumičem a následné prudké uvolnění
- pád kola nebo celé nápravy z malé výšky (speciálně konstruovaný zvedák)
- rychlé zabrzdění vozidla z nízké rychlosti (speciální brzdná plošina)

Jedním z možných způsobů vyhodnocení výsledků měření je grafická závislost (obrázek 10), znázorňující průběh výchylky svislého tlumeného pohybu karoserie podle dynamického modelu (obrázek 9).



Obr.10, Průběh výchylky svislého tlumeného pohybu karoserie

Z amplitud prvních dvou vrcholů grafu lze vyhodnotit kvalitu tlumení. Z těchto amplitud se vypočítá, dle rovnice 10, logaritmický dekrement útlumu δ

$$\delta = \ln \frac{y_1}{y_2} \quad (10)$$

Následně je vypočítán měrný útlum odpružené hmoty ξ_2 , podle rovnice 11.

$$\xi_2 = \frac{1}{2\pi} \delta \quad (11)$$

Pro konečné vyhodnocení kvality tlumení je třeba mít k dispozici databázi technických údajů testovaných modelů, z níž lze získat mezní hodnoty měrného útlumu odpružené hmoty, s kterými jsou porovnány vypočtené hodnoty měrného útlumu získané měřením.

Výhody a nevýhody použití tohoto pasivního systému jsou uvedeny v tabulce 2.

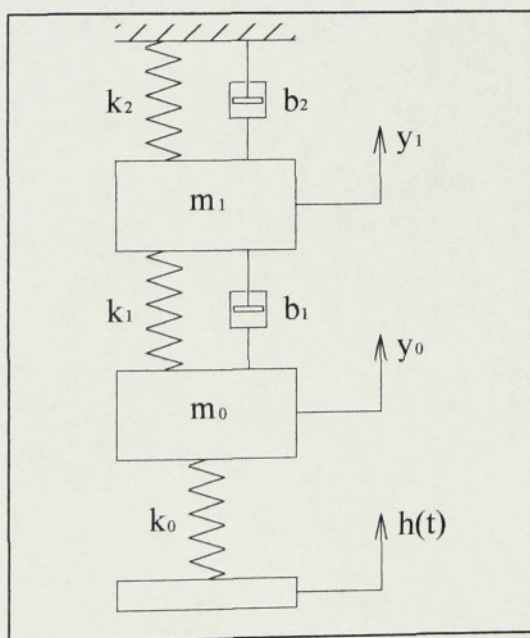
Tabulka 2, Výhody a nevýhody pasivních systémů

VÝHODY	NEVÝHODY
Malé rozměry	Atypické podmínky testování tlumiče (velký zdvih, malý kmitočet)
Vysoká mobilita	Nepoužitelnost u kvalitně tlumených náprav
Nízká spotřeba energie	Nelineární chování závěsu kola při velkých zdvizech

5.2.2 Rezonanční amplitudový systém

Rezonanční amplitudový systém patří mezi systémy aktivní. Tester pracuje tak, že plošina, na které stojí měřené kolo, je rozkmitána např. vačkovým mechanismem až do frekvence překračující vlastní kmitočet této plošiny s kolem. Po vypnutí hnacího motoru se frekvence kmitání postupně snižuje přes oblast rezonance až do úplného zastavení kmitání plošiny s kolem. Počítač zaznamenává průběh vibrací a vyhodnocuje měrný útlum neodpružené hmoty.

Zkušební zařízení pro bezdemontážní diagnostiku tlumičů pracující na rezonančním principu vychází ze skutečnosti, že v rezonanční oblasti kmitání nápravy nedochází k vibracím odpružené hmoty vozidla. Tento fakt je potom zřejmý také z obrázků 11 a 13.

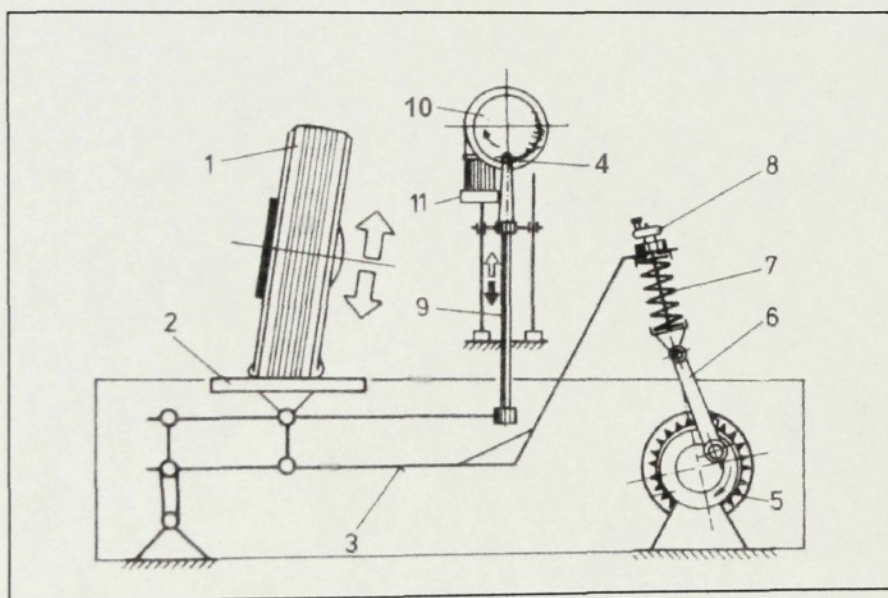


Obr. 11, Dynamický model amplitudového rezonančního systému

Na modelu je znázorněna neodpružená hmota m_1 , tuhost pneumatiky k_1 , tlumení pneumatiky b_1 , tuhost hlavní pružiny k_2 , konstanta tlumiče b_2 , a dále redukovaná hmota kmitajících částí testeru m_0 a redukovaná tuhost testeru k_0 . Zjišťování útlumu neodpružené hmoty m_1 je řešeno technicky snáze realizovatelným měřením kmitající hmoty m_0 . Testuje se na kmitočtu ležícím mezi vlastním kmitočtem odpružené a neodpružené hmoty při poměrně velkém zdvihu tlumiče.

Nevýhodou systému se jeví nutná vazba na databanku technických údajů jednotlivých typů vozů, jejich roku výroby a počtu najetých kilometrů. Z těchto tabulkových hodnot počítač vyhodnotí mezní hodnotu rozkmitu a porovná ji s naměřeným průběhem výkmitu. Pokud naměřené hodnoty jsou vyšší než hodnota mezní, pak počítač podá informaci o nutnosti výměny tlumiče.

Schéma typického představitele rezonančního amplitudového testeru BOGE je znázorněno na obrázku 12.



Obr. 12, Funkční schéma zařízení pro diagnostiku tlumičů BOGE [2]

Výkmit kola 1 zajišťuje klikový mechanismus (hnaný elektromotorem 5) 6 spojený přes pružinu 7 a pantografické zařízení 3 s opěrnou plošinou 2. Vibrace opěrné plošiny se přenášejí přes tyč 9 na zapisovací zařízení 4, které průběžně kreslí křivku na záznamový kotouč 10, jehož otáčení se děje vřazeným převodem a elektromotorkem 11. K počáteční aretaci zapisovacího hrotu a také ke kompenzaci vlivu pneumatiky slouží nastavovací zařízení 8.

Moderní rezonanční amplitudové testery tlumičů odpružení pracují v podstatě na tomtéž principu, pouze s tím rozdílem, že místo zapisovacího zařízení jsou pro snímání vibrací opěrné plošiny instalovány snímače výchylky, rychlosti nebo zrychlení. Snímače jsou potom připojeny na vyhodnocovací jednotku (většinou počítač).

5.2.3 Rezonanční adhezni systém

Rezonanční adhezni systém patří mezi systémy aktivní. Tester pracuje tak, že plošina, na které stojí měřené kolo, je rozkmitána vačkovým mechanismem až do frekvence překračující vlastní kmitočet této plošiny s kolem. Po vypnutí hnacího motoru se měří přitlačná síla (dynamická síla) kola na plošinu.

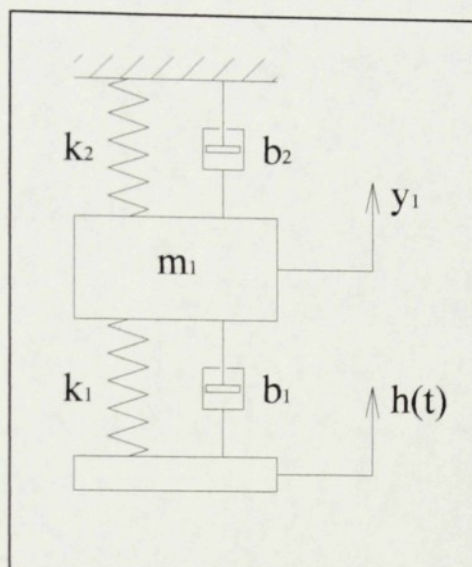
Většina v současnosti používaných aktivních testerů posuzuje přilnavost kola k vibrující plošině dle metodiky EUSAMA (European Shockabsorber Manufactur Association). Metodika EUSAMA je celosvětově uznávaná metodika, která definuje jednotné zkušební podmínky. Svisle kmitající plošina aktivního testeru (zdvih 6 mm), na které spočívá měřené kolo, simuluje nerovnosti vozovky a současně registruje přitlačnou sílu tohoto kola k plošině $F_{st} - F_{dyn}$. Kmitočet pohybu plošiny po vypnutí pohonu plynule klesá z 25 Hz až do zastavení. Výsledkem zkoušky je pak nejmenší hodnota přitlaku kola k plošině v průběhu testu. Směrnice doporučuje vyjadřovat poměrnou hodnotu této veličiny (**EUS**) vztaženou ke statické hodnotě přitlaku F_{st} .

$$EUS = 100 \frac{F_{st} - F_{dyn}}{F_{st}} \quad (12)$$

Součástí předpisu je i doporučení o minimální přípustné hodnotě tohoto přitlaku (20%), která se však mnoha výrobcům jeví jako příliš benevolentní. Výrobci testerů proto většinou minimální dovolenou hodnotu stanovují na základě vlastních zkušeností podstatně přísněji. /10/

Dynamický model na obrázku 13 zohledňuje fakt, popsany v kapitole 5.2.2, že amplitudu kmitání odpružené hmoty lze v okolí vlastního kmitočtu plošiny zanedbat, proto není uvažována ani hmota odpružené části vozidla m_2 . V dynamickém

modelu je m_1 neodpruženou hmotou nápravy, k_1 a b_1 je tuhost, resp. tlumení pneumatiky a k_2 je tuhost odpružení, b_2 je činitel tlumení.



Obr. 13, Dynamický model rezonančního adhezního testeru

6. BEZDEMONTÁŽNÍ TESTERY V PRAXI

V praxi se využívají různé modifikace výše zmíněných diagnostických systémů. Problematikou vývoje a výroby bezdemontážních testerů závěsů kol se v současné době zabývá několik zahraničních firem (BOGE, SACHS...). V České Republice se této otázce věnuje především Laboratoř diagnostiky automobilových podvozků při VUT Brno. Na základě každého výše uvedeného systému (viz. kapitola 4) byla v této laboratoři vyvinuta a zdokonalena zkušební zařízení pro testování závěsů kol automobilů.

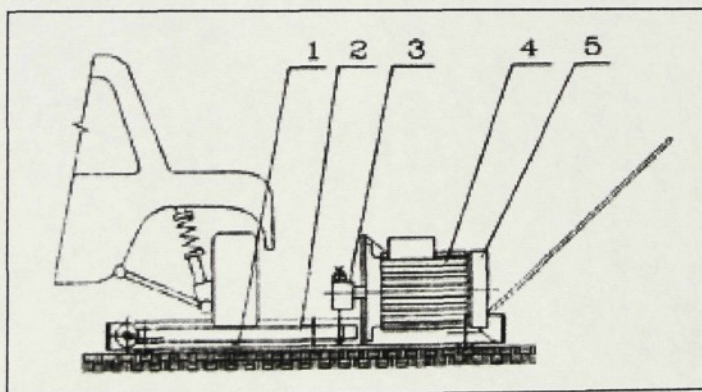
V tabulce 3 jsou uvedeny testery přiřazené k jednotlivým diagnostickým systémům.

Tabulka 3, Přehled testerů závěsů kol VUT Brno

Systém testování	Tester VUT Brno
Aktivní rezonanční adhezní	TriTec Diagnostic System
Pasivní impulsní dokmitový	TriStar Shock Tester
Aktivní rezonanční amplitudový	Boge-TriTest

6.1 TriTec Diagnostic System

Zkušební stolice TriTec je moderním bezdemontážním testerem pro ověřování komplexního stavu polonáprav osobních automobilů.



Obr.14, Schéma TriTec Testeru

Na obrázku 14 je znázorněno schéma zařízení. Vibrující plošina 2 simulující nerovnosti vozovky je poháněna elektromotorem 4 přes excentrický mechanismus 3. Tenzometricky je měřena svislá přítlačná síla, kterou působí kolo na plošinu. Po vypnutí elektromotoru klesá frekvence kmitání plošiny vlivem setrvačníku 5 pomalu

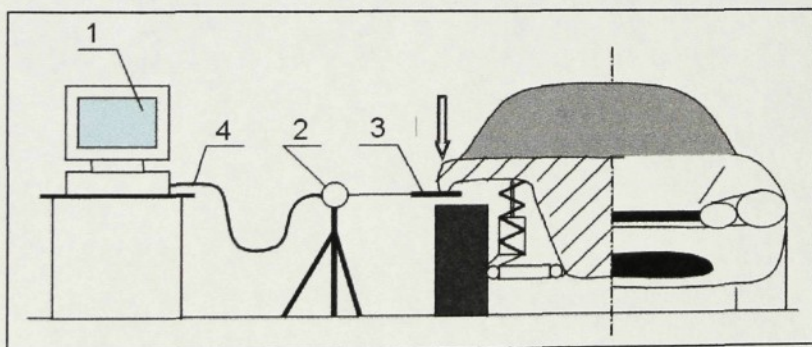
z počátečních 25 Hz až do zastavení. Kvalitu jízdních vlastností nápravy charakterizuje minimální hodnota přitlačné síly kola v průběhu dokmitávání plošiny.

Důležité je procentuální vyjádření tohoto odlehčení v poměru ke statické váze měřeného kola. Maximální možná, tedy stoprocentní hodnota poměrného odlehčení, znamená, že při největším rozkmitu kolo od vibrující plošiny odskakuje. Metodika měření plně respektuje doporučení mezinárodního sdružení výrobců tlumičů pérování EUSAMA.

Kmitající nosný rám je v podstatě přesnou tenzometrickou váhou, která dokáže změřit přitlačnou sílu kola až 250 krát za vteřinu. Na spodní straně ramen rámu jsou umístěny tenzometrické snímače 1. Rozdílové napětí na snímačích je zesíleno elektronickou jednotkou, a dále zpracováno prostřednictvím A/D převodníku umístěného v osobním počítači. Měřicí program lze nastavit tak, že změření jednoho automobilu nepřesáhne 5 minut. Po ukončení měření mohou být naměřené hodnoty spolu se základními údaji o vozidle a zákazníkovi uloženy do archivu k pozdějšímu porovnání.

6.2 TriStar Shock Tester

TriStar Shock Tester lze na základě výše uvedeného jednoduchého rozdělení zařadit do druhé kategorie (pasivních) testerů.



Obr.15, schéma zařízení TriStar Shock Tester

Je to v podstatě jednoduché mobilní zařízení, sloužící k měření funkce tlumičů odpružení osobních automobilů. Sestává ze seřizovacího stojánu 3 s odporovým snímačem polohy 1, který prostřednictvím ramene 2 vloženého např. do výřezu blatníku snímá svislé kmity vozidla, které jsou vyvolány pouhým ručním rozhoupáním vozidla. Signál ze snímače je přiveden kabelem do řídicího počítače 4

s instalovaným TriStar Software, který jej zpracuje, vyhodnotí součinitel útlumu odpružené hmoty a vypočte přilnavost kola k vozovce dle metodiky EUSAMA. Výsledný protokol objektivně zhodnotí technický stav tlumičů vozidla.

Měření lze provádět na libovolné ploše, je velmi jednoduché a nenáročné. Obsluha je vedena instrukcemi z obrazovky počítače. Měřicí program lze nastavit tak, že změření jednoho automobilu nepřesáhne 5 minut. Nároky na energii jsou minimální. Po ukončení měření mohou být naměřené hodnoty spolu se základním údaji o vozidle a zákazníkovi uloženy do archivu k pozdějšímu porovnávání. Na připojené tiskárně lze vytisknout podrobný zkušební protokol.

Data je možné snadno přenést také do prostředí programu Microsoft Excel, kde lze znázornit naměřené dokmity v grafickém formátu.

6.3 Zkušební stolice BOGE – TriTest

Jedná se o inovaci typického představitele amplitudového rezonančního testeru. Nevýhodou původního zařízení BOGE byl systém vyhodnocení. Tento mechanický systém byl tvořen zapisovačem a záznamovým kotoučem (viz funkční schéma na obrázku 12). Podstatnou nevýhodou ovšem byla závislost vyhodnocovaného největšího rozkmitu rezonanční křivky nejen na kvalitě tlumení.

Nepraktický systém řešení zařízení byl proto modernizován. Na ramena testeru byly instalovány snímače zrychlení a byl připojen řídicí počítač s A/D převodníkem. Tímto novým algoritmem vyhodnocování bylo dosaženo omezení vlivu rezonance těžkých motorů, které jsou měkce uloženy. To přispělo k zpřesnění výsledku měření. Pozitivním jevem je i to, že zůstal zachován původní postup testování, a také to, že systém nevyžaduje kalibraci. Navíc je nyní možno změřená data archivovat nebo vytisknout měřicí protokol.

Hodnotícím kritériem je hodnota měrného útlumu neodpružené hmoty, která úzce souvisí s aktivní bezpečností automobilu.

PRAKTICKÁ ČÁST

7. PROBLEMATIKA BEZDEMONTÁŽNÍ DIAGNOSTIKY

Podrobným prostudováním daného problému jsem došel k závěru, že bezdemontážní diagnostika automobilových tlumičů odpružení je poměrně úzce specifikovaná problematika. Přesto jsou pro její komplexní a důkladné pochopení nutné znalosti z různorodých vědních disciplín.

7.1 Hodnocení teorie

Teoretické poznatky, jež byly sepsány v teoretické části diplomové práce, předpokládají lineární chování soustav. To znamená, že nezahrnují všechny vlivy a činitele, kteří do těchto soustav vnášejí více či méně nelinearit. Tyto nelinearity však nejsou přítomny ve všech případech testování tlumičů a ne vždy se dají podchytit jednoduchou závislostí na chování soustavy, proto se tedy do teorie neuvádějí. Přesto tyto vlivy mohou ovlivnit, a ve většině případů také ovlivňují, vyhodnocení technického stavu tlumičů.

7.2 Diagnostika demontovaného tlumiče

Pravděpodobně nejobjektivnější metodou, kterou je možno použít pro zjištění stavu a funkčnosti tlumičů, je diagnostikování demontovaného tlumiče na zkušebním stavu. I v tomto případě je však nutno brát v úvahu děje, jejichž zanedbáním může dojít ke zkreslení výsledků měření, z nichž pak vyplynou chybné závěry. Jedná se například o to, že celý zkušební stav není absolutně „tvrdý“, a proto dochází ke vzájemné interakci mezi ním a zkoumaným tlumičem. Další faktory ovlivňující vyhodnocení tlumiče jsou spíše záležitostmi podmínek měření, hraje zde roli např. teplota olejové náplně, její viskozita a množství (v případě unikajícího oleje) nebo např. i napětění oleje.

7.3 Bezdemontážní diagnostika tlumičů

Stejní činitelé jako u demontážní diagnostiky ovlivňují i měření na bezdemontážní technice. K výše jmenovaným však v těchto případech přistupují ještě další vlivy. V oblasti zkušebních podmínek je to otázka pneumatik, tedy správného tlaku v pneumatikách, vzorku jejich dezénu, a dále pak také rozložení hmotnosti vozu na jednotlivá kola. Nezanedbatelné jsou samozřejmě také vlivy týkající se konstrukce závěsu kola jako celku. Značné ovlivnění výsledku může způsobit i výskyt případných vůlí.

Důležitá je také zvolená metoda bezdemontážního testu, volba vhodného kritéria pro posuzování stavu závěsu a úroveň provedení měřicího zařízení. Všechny tyto skutečnosti se nakonec promítají do celkového výsledku hodnocení tlumiče.

Všechny tyto skutečnosti jsou důvodem k pochybnostem o věrohodnosti výsledků testování tlumičů. Ovšem tato fakta zákazníka autoservisu, pneuservisu nebo jiné organizace, kde poskytují testování tlumičů vůbec nezajímají. Pro něj je důležitý fakt, jak je výsledek testu prezentován a zda je výsledek srozumitelný. Většina testerů je v dnešní době propojena s osobním počítačem (pokud tento není přímo součástí testeru), který jako doklad o provedení testu vytiskne zprávu na připojené tiskárně. V této zprávě většinou bývají uvedeny grafické závislosti měřených veličin na čase a také závěrečné zhodnocení stavu tlumiče, které jednoznačně udává, zda testovaný tlumič je v dobrém stavu, se sníženou funkcí nebo zcela nefunkční.

8. VYBAVENOST SERVISNÍCH ORGANIZACÍ

Klíčovou záležitostí je možnost zákazníka (majitele vozu) nechat si zkontrolovat funkci tlumičů. A právě z tohoto důvodu jsem část práce věnoval zjišťování vybavenosti servisních organizací bezdemontážním zařízením. Provedl jsem menší průzkum v autoservisech na Liberecku. Z tohoto průzkumu, upozorňuji že neprofesionálního, jsem došel k těmto závěrům:

- Malé autoservisy a autodílny nejsou vybaveny touto technikou. Tyto servisy také většinou nejeví zájem o získání testerů z důvodu vyšší ceny, ale také nízké poptávky po testování. Pokud taková poptávka ze strany zákazníků je, technici hodnotí tlumiče subjektivním dojmem (většinou optickým hodnocením dokmitu karoserie po ručním rozhoupání nebo subjektivním pocitem ze zkušební jízdy).
- Servisy autorizovaných prodejců různých automobilových značek jsou bezdemontážním zařízením na testování tlumičů odpružení vybaveny přibližně z jedné poloviny. Ostatní (nevybavené) autoservisy si pak s těmito sjednávají měření na svých automobilech určených k hodnocení funkce tlumičů.

Měření na profesionálním testeru

Při příležitosti průzkumu vybavenosti jsem požádal o provedení měření na profesionálním testeru SACHS 200 CSD (rezonanční amplitudový tester), který vlastní autorizovaný prodejce vozů BMW v Liberci, firma Palas Grand.

Postup měření

1. najetí předními koly na zkušební stolič
2. obsluha zadá do řídicího počítače údaje o vozidle (přesný typ vozu, rok výroby a počet najetých kilometrů)
3. spuštění testu
4. testování závěsu na levém předním kole
5. po skončení je samovolně spuštěno testování pravého předního závěsu
6. po ukončení je obsluha vyzvána, aby najela zadními koly na zkušební stolič
7. následuje opakování kroku 2 až 4
8. je proveden tisk závislosti výkmitu plošiny na čase, pásma výkmitů, které charakterizují dobrý stav, sníženou funkci nebo zcela nefunkční tlumič. Dále je

vytištěna hodnota max. výkmitu na jednotlivých kolech a konečně písemné hodnocení stavu tlumičů.

Výsledky měření jsou zobrazeny v příloze 1, kde hodnota v kroužku charakterizuje max. hodnotu výkmitu, která ještě patří dobrému tlumiči, a která je zjištěna z databáze řídicího počítače; hodnoty ve čtverci charakterizují změřené max. hodnoty výkmitu na jednotlivých kolech.

Zároveň s tímto měřením jsem provedl měření časové závislosti zrychlení. Příklad výsledku tohoto měření je zobrazen v příloze 2.

8.1 Zájem o testování tlumičů

Základní podmínkou pro rozšíření sítě servisů vybavených bezdemontážní technikou je zájem majitelů automobilů nechat si pravidelně kontrolovat stav a funkčnost tlumičů svého vozu. Při průzkumu, který je popsán v předchozí kapitole, jsem získal informace, že automobilisté z velké většiny nemají zájem o toto testování. A pokud přece jen zájem projeví, pak z důvodu podezření, že stav tlumičů je nevyhovující. Ovšem jako o preventivní úkon, pomáhající zajišťovat bezpečnost jízdy, je o testování zájem téměř nulový. Ani co se týče garančních prohlídek nových vozů není diagnostikování tlumičů jejich součástí. Souvisí to s vysokou životností tlumičů nových automobilů, která je několikanásobně vyšší, než cyklus prohlídek.

9. HODNOCENÍ TESTERŮ VUT BRNO

V oblasti vývoje bezdemontážní techniky, sloužící pro testování funkce automobilových tlumičů odpružení, jsou bezesporu přínosem testery vyvinuté v Laboratoři diagnostiky automobilových podvozků na VUT v Brně. Tato modelová řada testerů je popsána v kapitole 5. V následujících podkapitolách je provedeno subjektivní hodnocení každého z uvedených zařízení. Úvodem je třeba předeslat, že veškeré poznatky o těchto testerech, získané během zpracovávání práce, jsou čistě teoretické a pramení pouze z dostupné literatury.

9.1 Hodnocení TriTec Diagnostic Systemu

TriTec Diagnostic System je zařízení patřící do kategorie rezonančních adhezních systémů, které pracuje ve třech stupních:

- Základním stupněm je měření podle metodiky EUSAMA s upraveným zdvihem kyvného rámu - ze šesti milimetrů předepsaných EUSAMOU na jeden a půl milimetru. Tato hodnota, tedy 1,5 mm, více odpovídá typickým provozním podmínkám automobilu. Změna zdvihu je také výpočtově korigována.
- Druhý stupeň je tvořen kmitočtovou analýzou pohybu neodpružené hmoty a provedením automaticko-interaktivního posouzení jednotlivých typů závad na závěsu kola.
- Třetí stupeň je vývojový systém s toleranční šablonou, podle které je možno porovnat naměřené charakteristiky závěsu se závěsem, který je v bezvadném stavu.

Výhody a nevýhody jsou přehledně znázorněny v tabulce 4.

Tabulka 4, Výhody a nevýhody systému TriTec Diagnostic

Výhody	Konstrukční jednoduchost
	Provozní spolehlivost
	Nízká výrobní cena
	Nízká hmotnost kmitajících částí testeru
	Vysoká tuhost testeru
Nevýhody	Nízká schopnost lokalizace příčiny zhoršených vlastností závěsu kola
	Není odstraněn vliv pneumatiky na výsledek testu
	Problém se správným ustavením kola na kyvný rám

Největší přínos tohoto zařízení spatřuji v relativně objektivním kritériu hodnocení celé nápravy, s využitím poměrně reálných jízdních podmínek. Dále pokládám za výhodné hodnocení výsledku testu dle metodiky EUSAMA. Za klad systému považuji i snahu o komplexnost, tedy zjišťování příčin nesprávné funkce celého závěsu včetně tlumiče prostřednictvím modální analýzy. Vyhodnocení se tedy neomezuje jen na stav tlumiče odpružení. Také třetí stupeň hodnocení závěsu, porovnání se šablonou, je jistě přínosem.

Problémem se jeví pouze nutnost mít k dispozici velký počet naměřených modelů s nejzávažnějšími a nejvíce se vyskytujícími závadami a také dostatečný souhrn statisticky vyhodnocených naměřených charakteristik plně funkčního nového závěsu pro získání toleranční šablony. V tomto spatřuji hlavní problém tohoto diagnostického zařízení.

Naskytá se otázka, zda snížení zdvihu kmitající plošiny neovlivňuje objektivitu testování. K vyřešení této otázky by bylo nutno provést velký počet srovnávacích měření (toto však nebylo cílem této práce).

9.2 Hodnocení TriStar Shock Testeru

TriStar Shock Tester patří mezi bezdemontážní diagnostické zařízení využívající principu pasivního dokmitového testu.

Tabulka 5 ,Výhody a nevýhody systému TriStar Shock Testeru

Výhody	Komfort zpracování výsledků
	Uživatelsky názorné hodnotící kritérium měření EUSAMA
	Malé rozměry
	Vysoká mobilita
	Jednoduchá manipulace a obsluha
	Vysoký poměr výkon / cena
	Možnost archivace a vtištění dat o provedeném testu
Nevýhody	Není možno hodnotit tlumiče vozidel, u kterých nelze vybudit
	Nutnost přepočtu součinitele útlumu na relativní přítlak kola pro
	Není odstraněn vliv pneumatiky na výsledek testu
	Hodnocen je celý závěs

Největší přínos tohoto zařízení je v provozní nenáročnosti a rychlosti měření. Další nemalou výhodou vidím v jednoduchosti zařízení, ze které pramení i jeho přijatelná cena. Proto se domnívám, že pro menší a střední servisní organizace je tento systém velkým přínosem do problematiky bezdemontážní diagnostiky tlumičů odpružení. Výhoda je i ve zvoleném hodnotícím kritériu pro prezentaci výsledků měření (přítlak kola podle metodiky EUSAMA), které se ovšem musí vypočítat ze změřeného relativního útlumu odpružené hmoty. Vlastní měření je možno, podle informací výrobce, provádět na libovolné rovné ploše třeba i přímo v terénu, čímž odpadá potřeba uzavřených zkušebních prostor.

Menší nevýhodu, spíše ekonomického charakteru, vidím v nutnosti vybavení servisu řídicím počítačem a v neposlední řadě také schopnost obsluhy správně ovládat měřicí software. Nevýhodu také spatřuji v tom, že stav tlumiče je hodnocen pouze při roztahování tlumiče. Nabízí se tedy otázka, zda by výsledky měření byly srovnatelné pokud by se měřil tlumič ve fázi stlačování, ovšem takovýto způsob měření je téměř nereálný. Problematická může být také relevantnost hodnocení tlumiče, zvláště po uvědomění si, že toto vyhodnocení je provedeno pouze z jediného zdvihu karosérie, který nemusí být uskutečněn za stejných testovacích podmínek. Další vliv na přesnost výsledku měření má i nelinearita tlumícího a pružícího systému.

Přes všechny nedostatky se však zdá, že systém TriStar Shock Tester je přínosem zejména pro střední autoservisy, a to především z důvodu relativně nízké pořizovací ceny.

9.3 Hodnocení zkušební stolice BOGE – TriTest

Jedná se o představitele rezonančních amplitudových testerů, který vznikl modernizací klasického testeru BOGE.

Přínos tohoto zařízení spatřuji v modernizování stávajícího zařízení. Pro servisní organizaci to znamená zejména relativně nízkou cenu dovybavení původní zkušební stolice BOGE snímači zrychlení a řídicím počítačem s A/D převodníkem a speciálním softwarem.

Zásadní nevýhodou je hodnocení vozů pouze z hlediska obecných konstrukčních doporučení.

Tabulka 6, Výhody a nevýhody systému BOGE-TriTest

Výhody	Počítačové zpracování výsledků
	Zachování původního postupu měření
	Omezení vlivu rezonance měkce uložených těžkých motorů
	Není potřeba kalibrace přístroje
Nevýhody	Možnost archivace a vytištění dat o provedeném testu
	Stejné hodnocení pro všechny vozy (sportovní vůz i kombi)
	Není odstraněn vliv pneumatiky na výsledek testu

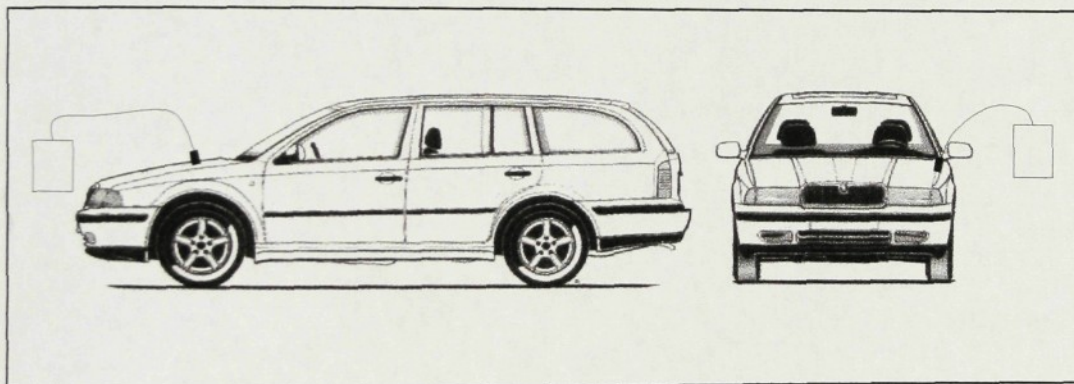
Naskýtá se otázka, zda by bylo možné inovovat systém vyhodnocení podobně jako u systému TriStar, tzn. přepočtem útlumu neodpružené hmoty na velikost relativního přitlaku.

10. IDEOVÝ NÁVRH ŘEŠENÍ TESTERU

Cílem této části práce nebylo navrhnout profesionální měřicí zařízení, které by bylo používáno ke komerčním účelům v servisních organizacích, nýbrž zařízení pro studijní účely. Proto jsem se při tvorbě návrhu alternativního řešení testeru zaměřil na jeho využitelnost při běžné výuce. V návaznosti na tento fakt jsem pracoval s takovými měřicími prostředky, které patří do vybavení školy.

10.1 Impulsní dokmitový test

Z popisu měření na bezdemontážním impulsním dokmitovém testeru Ing. Mazúrka, prezentovaného v habilitační práci [10], jsem zejména kvůli jednoduchosti zařízení vypracoval návrh měření, který by využil tento systém. Testování využívá jednohmotový dynamický model, viz. obrázek 9. Jako měřicí zařízení v tomto návrhu figuruje analyzátor MICROLOG CMVA 10 od firmy SKF, který je používán pro měření zrychlení. Na obrázku 16 je znázorněno schéma měření.



Obr. 16, Schéma měření zrychlení karoserie přístrojem MICROLOG

Postup měření

- Snímač zrychlení se prostřednictvím permanentního magnetu připevní na blatník co nejblíže místu uchycení testovaného tlumiče.
- Do analyzátoru se vloží údaje potřebné pro tento druh měření, jako je frekvenční rozsah, počet čar, druh časového okénka atd., a také název souboru, do kterého se budou ukládat výsledky měření.
- Přístroj je nyní připraven sbírat a zpracovávat data. Nyní je tedy možno spustit vlastní měření tlačítkem *Take Data*. Několikrát se zhoupne karoserií (rozhoupaní

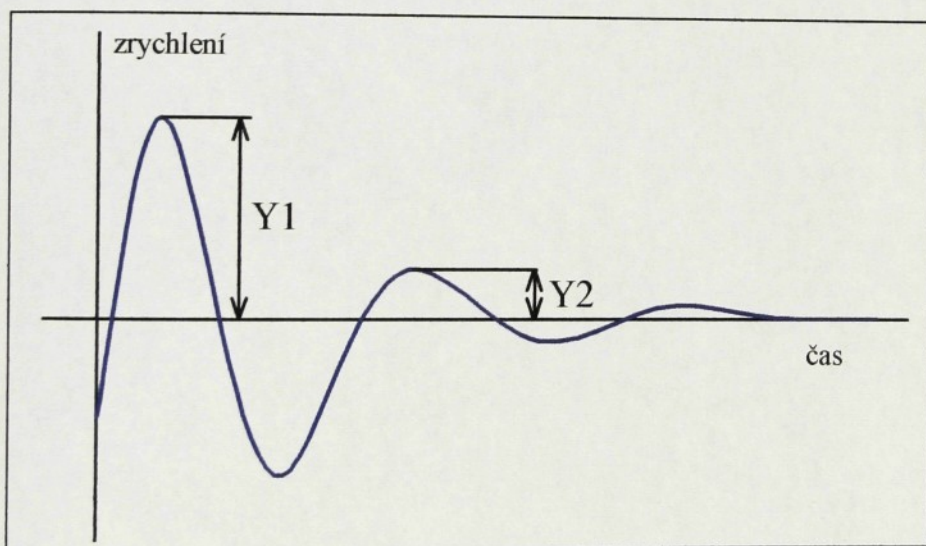
provádí obsluha), v blízkosti místa upevnění snímače, aby došlo k automatickému nastavení oblasti hodnot analyzátoru. Toto nastavování je na přístroji signalizováno heslem *Data Collection*.

- Po zhasnutí nápisu *Data Collection* dojde k vlastnímu měření, kdy se ještě jednou zhoupne karoserie a na displeji přístroje se zobrazí průběh zrychlení karoserie (místa uchycení snímače).
- Průběh zrychlení se uloží. Následně lze data také pomocí speciálního softwaru převést do počítače a následně vytisknout.

Vyhodnocení výsledků

Možný vyfiltrovaný průběh zrychlení karoserie je znázorněn na obrázku 17.

Pro vyhodnocení tlumeného kmitání (měrný útlum) byla použita metoda popisovaná v kapitole 4.2.1 s tím rozdílem, že měrný útlum nebyl vyhodnocen z průběhu výchylky, nýbrž z průběhu zrychlení.



Obr. 17, Průběh zrychlení svislého tlumeného pohybu karoserie

Pro logaritmický dekrement útlumu δ potom zřejmě platí, že

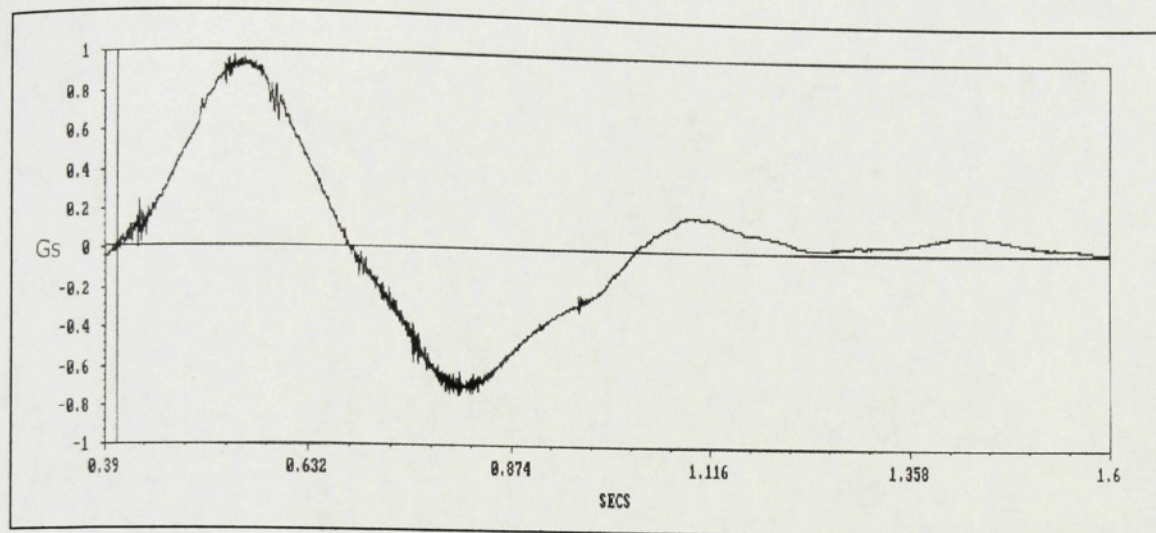
$$\delta = \ln \frac{Y1}{Y2}$$

(13)

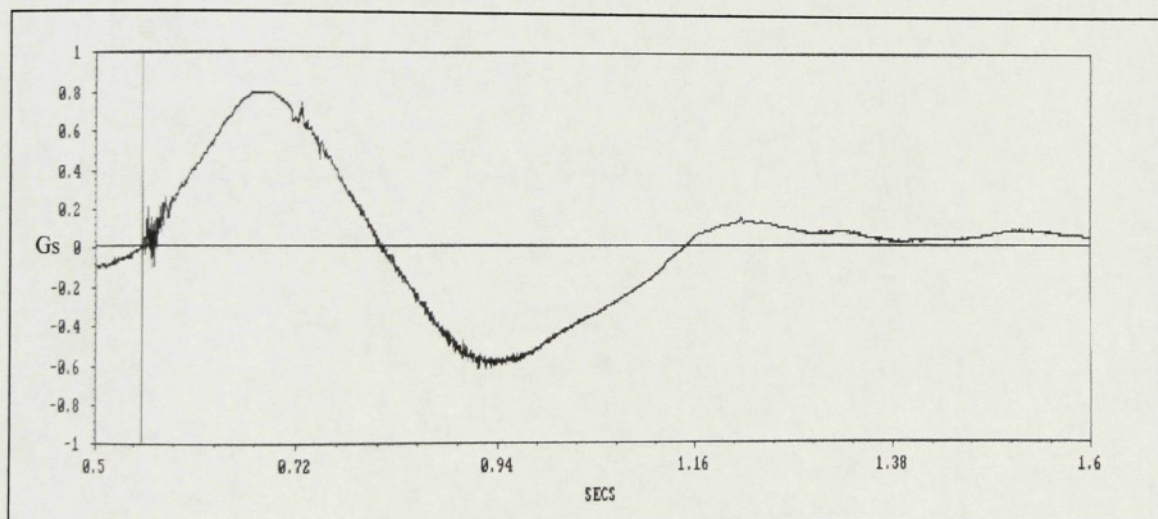
kde $Y1 = -\omega^2 \cdot y1$, $Y2 = -\omega^2 \cdot y2$

A pro výsledný měrný útlum odpružené hmoty potom platí rovnice 11.

Výsledky z měření na vozidle Škoda Octavia Combi jsou znázorněny na obrázku 18 a 19.



Obr. 18, Průběh zrychlení levého předního blatníku



Obr. 19, Průběh zrychlení pravého předního blatníku

Vypočtený útlum odpružené hmoty:

Levý přední blatník $\xi_2=0.259$

Pravý přední blatník $\xi_2=0.263$

Procentuální rozdíl útlumu 1.5%

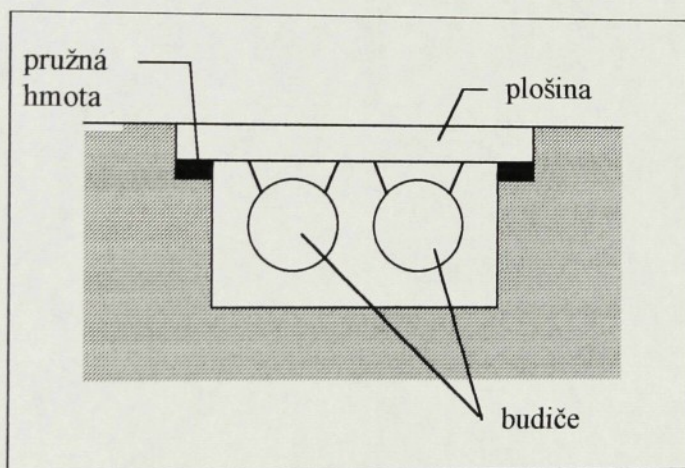
10.2 Rezonanční amplitudový test

Rezonanční amplitudový test pro testování jednoho závěsu byl výchozím materiálem pro konstrukční návrh zařízení využívající právě tento princip.

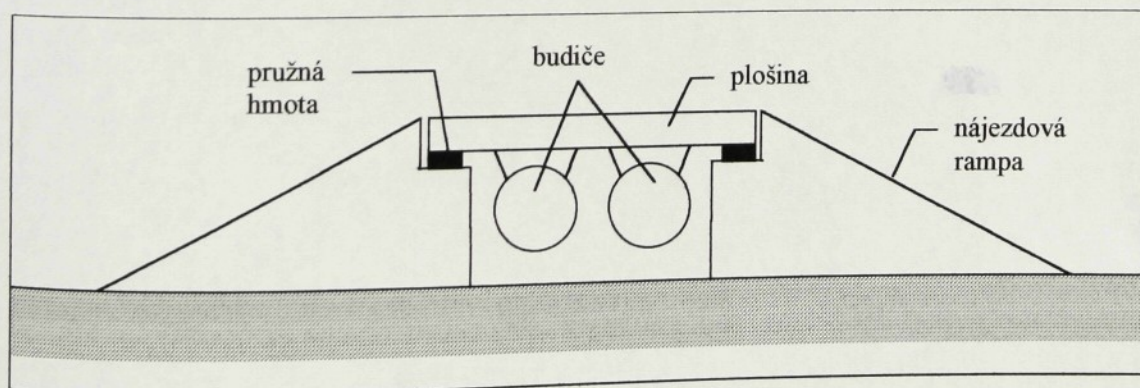
10.2.1 Konstrukce a umístění testeru

Jedná se o pružně uloženou plošinu, na které spočívá kolo testovaného závěsu. Kmitání plošiny zajišťují dva souběžně pracující elektromechanické budiče kmitů s osami rovnoběžnými. Tímto uspořádáním budičů je zajištěn přímočarý kmitavý pohyb plošiny. Požadovaná budící síla je odstředivá, vyvolaná rotujícími nevývažky na koncích hřídelů. Návrh konstrukce s hlavními rozměry je zobrazen v příloze 5.

Pružně uložená plošina, na níž při testování spočívá kolo vozu, může být řešena tak, že bude zapuštěna do země (obrázek 20), nebo bude přímo součástí zkušební rampy (obrázek 21).



Obr.20, Plošina zapuštěná do země



Obr. 21, Plošina jako součást zkušební rampy

10.2.1.1 Návrh odpružení plošiny

Odpružení plošiny je zajištěno pružnými členy, kterými mohou být pružiny kovové, pryžové nebo vzduchové. Pro vlastní návrh řešení bych zvolil, s ohledem na finanční stránku a jednoduchost použití, pružiny pryžové.

Odpružení plošiny zajišťované pružným členem musí zaručit to, že rezonance neovlivní průběh testu.

Z rovnice 14 pro výpočet vlastní frekvence jednodílné soustavy, kde m je hmotnost plošiny a hmotnost části vozidla připadající na plošinu, k_0 je tuhost odpružení.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k_0}{m}} \quad (14)$$

Z tohoto vztahu lze po úpravě teoreticky vypočítat tuhost pružného uložení

$$k_0 = m \cdot \omega_0^2 \quad (15)$$

Pro vlastní frekvenci soustavy jsem stanovil podmínku, že $\omega_0 \leq 1\text{Hz}$. Tato podmínka vychází z požadavku práce testeru v nadrezonanční oblasti soustavy (část vozidla + plošina s budiči). Po dosazení této podmínky do rovnice 15 bude podle vypočtené tuhosti vybrán vhodný element odpružení.

Koeficient tlumení b_0 pro pružinu o tuhosti k_0 bude zjištěn z katalogu.

Oba tyto koeficienty lze určit také experimentálně.

10.2.1.2 Použitý budič

Příložené vibrátory jsou elektromechanické budiče kmitů, u nichž je odstředivé síly dosahováno pomocí rotujících nevývažků na koncích hřídele. Poloha vnějších nevývažků je vymezená pery, vnitřní nevývažky lze po uvolnění šroubů plynule natáčet vůči vnějším a tím měnit moment nevývažků a velikost výsledné odstředivé síly od 0 do maxima dle stupnice na vnějších nevývažcích./19/ Nevývažky obou budičů však nesmí být oproti sobě navzájem natočeny, aby byl zajištěn přímočarý pohyb plošiny.

Sfázování obou vibrátorů je zajištěno jejich autosynchronizací.

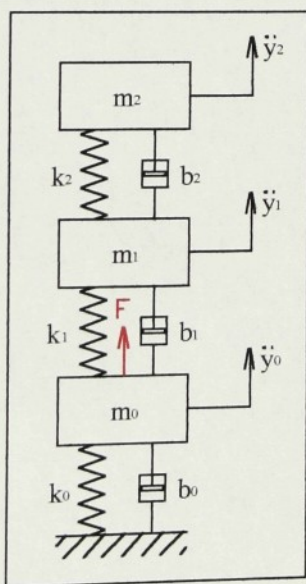
V tomto návrhu je jako budič vibrací použit příložený vibrátor typu O 12, který vyrábí firma Vibros Příbram. Lze též použít vysokofrekvenční vibrátor typu FO 12-6 téže firmy, který disponuje totožnými rozměry avšak má jiné parametry a hlavně je řízen frekvenčním měničem. V tabulce 7 jsou uvedeny základní parametry těchto vibrátorů.

Tabulka 7, Parametry příložených vibrátorů O 12 a FO 12-6

Parametr		O 12	FO 12-6
Otáčky	$[\text{min}^{-1}]$	3000	6000
Výkon	$[\text{kW}]$	0,18	0,18
Pracovní moment	$[\text{kg} \cdot \text{mm}]$	28	7
Maximální odstředivá síla	$[\text{N}]$	2800	2800
Hmotnost	$[\text{kg}]$	11	10

Pro vlastní návrh výukového testeru závěsů kol bych vybral buzení pomocí příloženého vysokofrekvenčního vibrátoru FO 12-6, a to především z důvodu možnosti řízení frekvence frekvenčním měničem. Frekvence budiče by se měla pohybovat v rozmezí 0 až 100 Hz, přičemž pro vlastní měření bude důležitý rozsah přibližně 0 až 20 Hz, kde se vyskytují vlastní frekvence karoserie (přibližně 1,2 - 1,6 Hz) a náprav (přibližně 9 - 16 Hz).

10.2.2 Dynamický model a popis rovnicemi



Obr. 22, Dynamický model amplitudového rezonančního testeru

Systém měření využívá tříhmotového dynamického modelu, který je znázorněn na obrázku 22.

Na modelu je znázorněna hmota plošiny s budiči m_0 a její pružné uložení charakterizované tuhostí k_0 a tlumením b_0 , dále pak neodpružená hmota m_1 a tuhost k_1 a tlumení b_1 charakterizující pneumatiku, a konečně odpružená hmota m_2 s tuhostí k_2 a tlumením b_2 představující závěs a tlumič.

Všechny tyto parametry je možno získat buď z technické dokumentace výrobce automobilu, nebo z experimentálního měření.

Dynamický model je popsán rovnicí v maticovém tvaru takto:

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B} \cdot \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K} \cdot \mathbf{q} = \mathbf{f} \quad (16)$$

kde jednotlivé matice a vektory jsou definovány takto:

matice hmotnosti

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 \end{bmatrix}$$

matice tlumení

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_0 + b_1 & -b_1 & 0 \\ -b_1 & b_1 + b_2 & -b_2 \\ 0 & -b_2 & b_2 \end{bmatrix}$$

matice tuhosti

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_0 + k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix}$$

vektor zrychlení

$$\ddot{\mathbf{q}} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_0 \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{Bmatrix}$$

vektor rychlosti

$$\dot{\mathbf{q}} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_0 \\ \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{Bmatrix}$$

vektor výchylky

$$\mathbf{q} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix}$$

vektor buzení

$$\mathbf{f} = \begin{Bmatrix} F_0 \cdot e^{j\omega t} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

10.2.3 Princip měření

Princip je totožný s principem popsáným v kapitole 5.2.2. To znamená, že kmitající plošina se pomocí budičů rozkmitá do frekvence vyšší než je vlastní kmitočet plošiny s kolem (5-10 Hz dle /10/). Protože je použito frekvenční řízení budiče FO 12-6, je možno měnit frekvenci dle potřeby. V tomto případě bude jako měřící zařízení použit dvoukanálový analyzátor Brüel & Kjaer typ 2144.

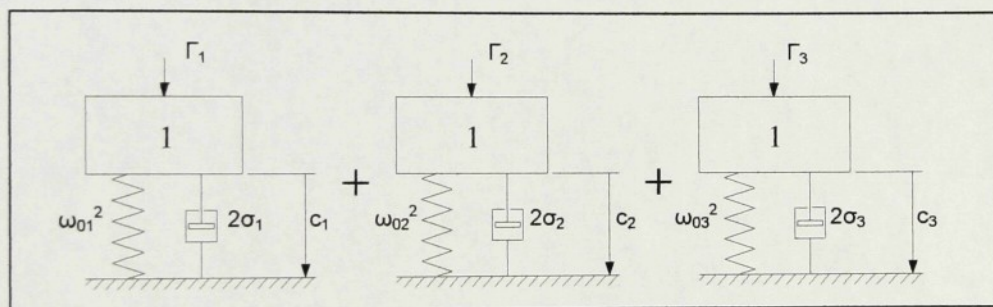
10.2.4 Způsoby měření a hodnocení výsledku

1) Měření maximální výchylky v rezonanční oblasti

Měření bude probíhat tak, že jedním kanálem analyzátoru Brüel & Kjaer bude snímáno zrychlení plošiny, které bude následně přepočteno (dvojitou integrací) na výchylku plošiny. Hodnotícím kritériem funkce tlumiče bude velikost výchylky v rezonanční oblasti a tedy velikost útlumu neodpružené hmoty m_1 zjišťovaná měřením na kmitající hmotě plošiny m_0 . Tento způsob měření je jednoduchý, ale pro vyhodnocení stavu závěsu vyžaduje širokou databázi parametrů (v tomto případě maximálních výchylek) pro různé typy automobilů.

2) Modální analýza – silové buzení

Jako druhou metodu hodnocení stavu tlumiče, která je podmíněna použitím dvoukanalového analyzátoru, bude možno využít metodu experimentální modální analýzy, pro kterou platí dynamický model znázorněný na obrázku 23.



Obr. 23, Dynamický model v modálním prostoru

Tento dynamický model je popsán pohybovou rovnicí v maticovém tvaru takto:

$$\mathbf{I} \cdot \ddot{\mathbf{c}} + 2\boldsymbol{\sigma} \cdot \dot{\mathbf{c}} + \boldsymbol{\omega}_0 \cdot \mathbf{c} = \boldsymbol{\Gamma} \quad (17)$$

kde $\mathbf{I}$ je jednotková matice, $2\boldsymbol{\sigma}$ matice modálního tlumení a $\boldsymbol{\omega}_0$ matice vlastních kmitočtů, $\mathbf{c}$ je vektor modálních souřadnic a $\boldsymbol{\Gamma}$ je vektor obecných modálních sil.

V případě této metody testu bude jeden kanál přístroje využit pro měření budící odstředivé síly F_0 , zatímco druhý kanál pro snímání zrychlení závěsu nebo karoserie. Jednodušším řešením pro získání budící odstředivé síly je její výpočet podle rovnice

$$F_0 = m_n \cdot r \cdot \omega_b^2 \quad (18)$$

kde m_n je hmotnost nevývažků, r je excentricita a ω_b je úhlová frekvence otáčení rotoru budiče.

Výsledkem bude vyhodnocení frekvenční přenosové funkce, což je závislost poměru z měřeného zrychlení a budící síly na frekvenci.

Pro navrhovaný tester však nelze tento způsob měření a vyhodnocení použít, protože není možné pracovat s budící silou. A to z toho důvodu, že není k dispozici snímač budící síly ani nelze budící sílu zadat do softwaru použitého analyzátoru.

Pozn.: Teoreticky by také bylo možno provést modální analýzu s použitím rázového kladívka. Ovšem lze (s velkou úspěšností) předpokládat, že odezva tlumiče na ráz vybuzený rázovým kladívkem nebude dostatečná. Proto ani tento způsob modální analýzy nelze v praxi využít.

3) Modální analýza – kinematické buzení

Modální analýza se nebude provádět jako odezva na budící sílu, ale jako odezva na kinematické buzení. Snímač pro měření budícího zrychlení (kanál A) bude pomocí závitu připevněn přímo k plošině. Druhý snímač (kanál B) potom bude umístován pomocí magnetu na neodpruženou nebo odpruženou hmotu. Touto metodou lze zjišťovat a vyhodnocovat:

- přenosovou funkci (poměr zrychlení B/A v závislosti na frekvenci)
- časové závislosti zrychlení jednotlivých hmot
- vlastní tvary kmitů
- parametry soustavy (tuhosti, tlumení)

Dále lze provést animaci pohybu odpružené a neodpružené hmoty. Je také možné identifikovat problém měkce uloženého motoru a případné vůle v závěsu.

ZÁVĚR

Závěrem lze uvést, že cíle diplomové práce se podařilo splnit. Seznámil jsem se s problematikou bezdemontážní diagnostiky automobilových závěsů kol. Musím však zdůraznit, že pro podrobné a dokonalé pochopení této problematiky by bylo třeba věnovat tomuto tématu daleko více času, než je v možnostech studenta při tvorbě diplomové práce.

Jedním z hlavních cílů bylo navrhnout takové neprofesionální bezdemontážní zařízení, které by bylo možno využít při výuce. Navrhl jsem dvě varianty řešení takového zařízení.

V první variantě se jedná v podstatě pouze o návrh měření podle principu impulsního dokmitového testu. Navržené a provedené měření je možno bez větších obtíží provádět i při minimálních znalostech této problematiky. Po provedení měření tímto způsobem, hodnoty vypočtených útlumů odpružené hmoty napovídají, že závěsy jsou zřejmě v dobrém technickém stavu. Toto tvrzení lze podpořit faktem, že testovaný vůz byl v dobrém technickém stavu, který korespondoval s nízkým počtem ujetých kilometrů. Tento výsledek by tedy mohl být brán jako plnohodnotná výpověď o stavu závěsů kol a tedy i tlumičů odpružení. Je ovšem nutné uvést, že pro podrobnější výsledky by byla třeba databáze s hodnotami měrného útlumu pro testované vozy. Tato databáze by byla vhodná hlavně co se týče přechodových pásem mezi dobrými tlumiči, tlumiči se sníženou funkcí a nefunkčními tlumiči.

Jako druhou variantu jsem navrhl tester pracující na principu rezonančního amplitudového testu. Tady jsem největší pozornost zaměřil na konstrukci kmitající plošiny a návrh postupu. Tento způsob testování se zdá být objektivnější než předchozí. I v tomto případě zde však přetrvává nevýhoda návaznosti na databázi testovaného vozu při vyhodnocení závěsu kola pomocí maximálního výkmitu plošiny v rezonanční oblasti. Nespornou výhodou však tento systém přináší v případě hodnocení závěsu použitím modální analýzy. V takovém případě totiž není nutná existence databáze hodnot a lze hodnotit různé problémy závěsu kola zvlášť.

Domnívám se, že druhý způsob testování závěsu kola je „profesionálnější“ a podle předpokladů by měl podávat lepší (hodnotnější) výsledky.

Důležitou otázkou samozřejmě zůstává cena takového zařízení. První varianta nevyžaduje téměř žádné investice, zatímco náklady na druhou variantu se podle mého odhadu blíží částce 25 000 Kč, a to hlavně z důvodu použití frekvenčního měniče a dvou vysokofrekvenčních vibrátorů.

I přes poměrně vysoké náklady jsem přesvědčen, že druhá varianta testování je vhodnější.

Práce na daném tématu mi poskytla všeobecný přehled o způsobech a možnostech testování stavu automobilových závěsů kol. Zároveň mi rozšířila znalosti týkající se technické diagnostiky a nauky o kmitání. V neposlední řadě mi umožnila seznámit se s měřicími přístroji používanými v technické diagnostice a dále pak s profesionálním testerem tlumičů odpružení.

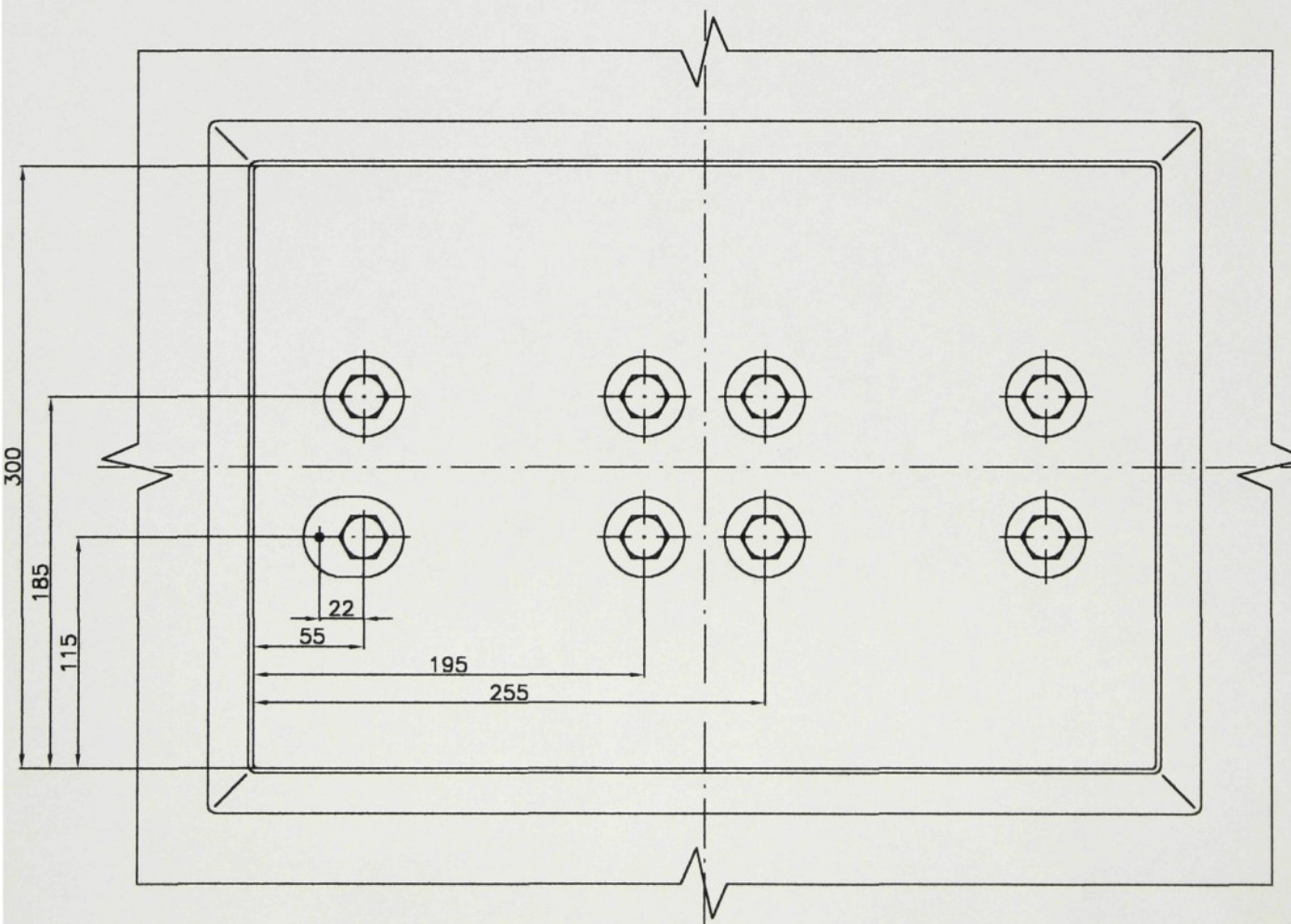
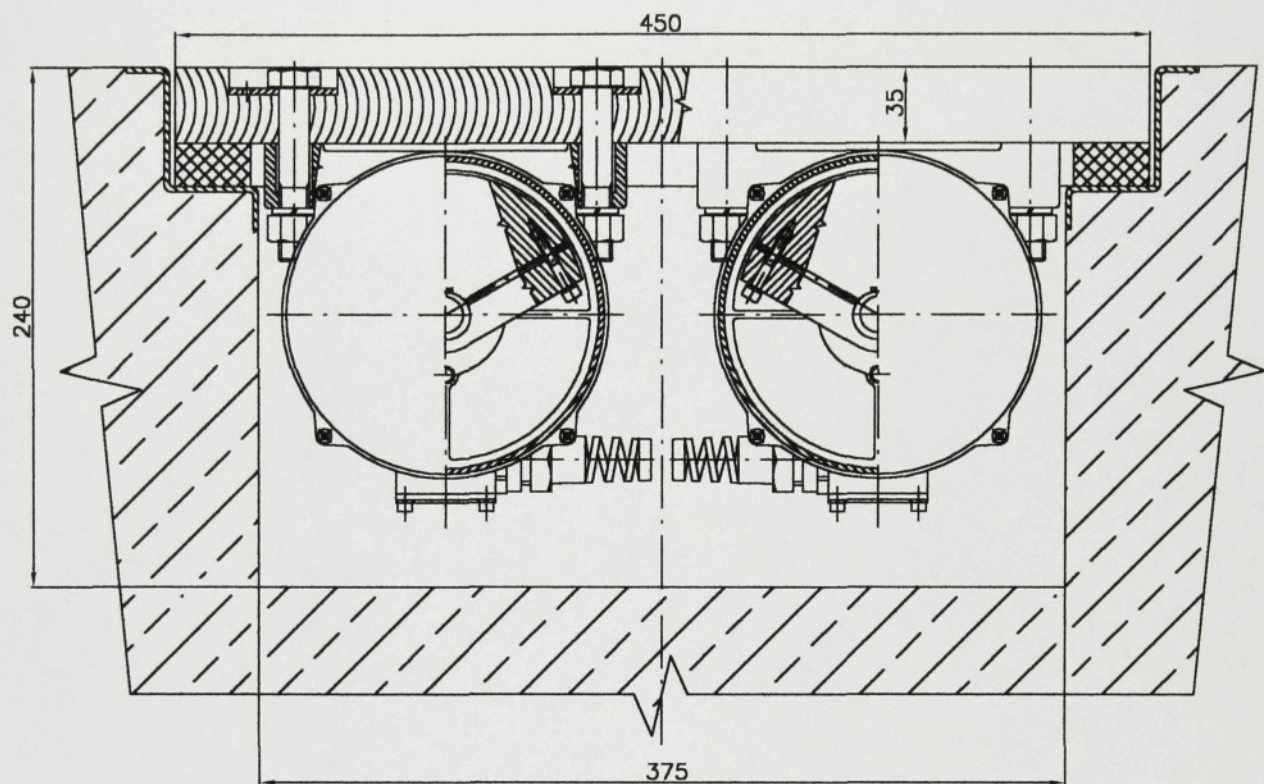
Seznam použité literatury

- /1/ Baťa, V.: Údržba a opravy vozů Škoda, SNTL, Praha 1972
- /2/ Bedroš, J., Beránek, K.: Diagnostika silničních motorových vozidel, NADAS, Praha 1985
- /3/ Bedroš, J.: Diagnostika osobních automobilů, SNTL, Praha 1976
- /4/ Dokumentace firmy Vibros Příbram, Příložené vibrátory
- /5/ Døssing, O.: Zkoušení mechanických soustav, Brüel & Kjaer, Naerum 1988
- /6/ Døssing, O.: Zkoušení konstrukcí, Brüel & Kjaer, Naerum 1989
- /7/ Juliš, K., Brepta, R.: Mechanika II. Díl – Dynamika, SNTL, Praha 1987
- /8/ Kožešník, J.: Kmitání mechanických soustav, Academica, Praha 1979
- /9/ Krása, J.: Analýza vlivu hlavních částí rámu zkoušecího stavu tlumičů na dynamiku měření tlumících sil, diplomová práce, TU Liberec 1997
- /10/ Mazůrek, I.: Bezdemontážní diagnostika automobilových závěsů kol, habilitační práce, VUT Brno 1999
- /11/ Miláček, S.: Stavba strojů 136, Metoda modální analýzy a její aplikace, Dům techniky ČSVTS, Praha 1990
- /12/ Miláček, S.: Vyšší dynamika (Vybrané kapitoly), ČVUT Praha 1998
- /13/ Vávra, P. a kol.: Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické, SNTL, Praha 1983
- /14/ Vlk, F.: Teorie vozidel – Automobily, SNTL, Praha 1982
- /15/ Vlk, F.: Zkoušení vozidel, SNTL, Praha 1984
- /16/ Vlk, F.: Podvozky motorových vozidel, VLK, Brno 2000
- /17/ Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel, VLK, Brno 2000
- /18/ Zikmund, M.: Analýza dynamiky podvozku, diplomová práce, TU Liberec 1995

Další zdroje informací :

- /19/ Internetová stránka firmy Vibros Příbram : <http://www.vibros.cz>
- /20/ Internetová stránka firmy Elit : <http://www.elit.cz>
- /21/ Internetová stránka: <http://www.vseved.cz>

Příloha 5





Příloha 4

