

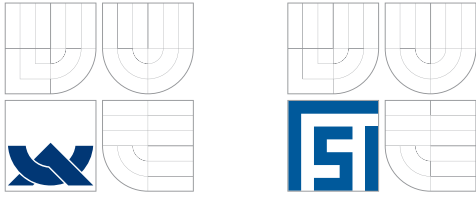
Fakulta strojního inženýrství
Ústav konstruování / Odbor Konstruování strojů

Faculty of Mechanical Engineering
Institute of Machine and Industrial Design / Department of Machine Design

Sledování technického stavu závěsu kola vozidla

[Disertační práce]
[PhD Thesis]

Autor práce: **Ing. Martin Šindelář**
Author



Fakulta strojního inženýrství
Ústav konstruování / Odbor Konstruování strojů

Faculty of Mechanical Engineering
Institute of Machine and Industrial Design / Department of Machine Design

Sledování technického stavu závěsu kola vozidla

[Disertační práce]
[PhD Thesis]

Autor práce: **Ing. Martin Šindelář**
Author

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.**
Supervisor

Poděkování

Moje poděkování náleží především mému školiteli Doc. Ing. Ivanu Mazurkovi, CSc., z jehož podnětu práce vznikla. Děkuji mu za jeho mimořádnou ochotu, obětavost a čas, který mi v průběhu práce věnoval. Můj dík patří rovněž všem ostatním, kteří mi byli jakkoli nápomocni.

ABSTRAKT

V rámci této disertační práce je představena nová metodika testování a hodnocení stavu tlumiče odpružení, jako ústředního elementu závěsu kola vozidla z hlediska dynamických vlastností. Řešení tohoto úkolu je podmíněno splněním dílčích cílů práce, a sice návrh testovací stolice tlumičů, návrh a odladění měřicího řetězce zmíněné stanice a tvorba a implementace řídicího a analyzačního softwaru, přičemž navržená metodika testování je jádrem navrženého analyzačního programu.

Představená metodika je postavena na zpracování dat získaných testováním tlumiče ve specifických zkušebních režimech na mechanické testovací stolici, přičemž hlavním cílem a přínosem navržené metodiky je identifikovat a následně eliminovat projevy pružných úchytů tlumiče a identifikovat a posléze odděleně posuzovat jednotlivé silové složky celkové reakční síly tlumiče, která je v obecném případě závislá na posunutí, rychlosti a zrychlení pístnice tlumiče odpružení.

ABSTRACT

The main subject of this thesis is the presentation of the new methodology of testing and analysis of the automotive dampers condition, where automotive damper considers the main element of the automotive wheel suspension from dynamic properties point of view. For solution mentioned target is necessary to solve some partial tasks of thesis: the proposal and realization of the testing damper station, the proposal and the debugging of the measurement chain of the mentioned station and development and implementation of the control and analysis software. The new methodology is the pivot of the proposed analysis software.

The presented methodology is based on data processing, which are acquired by measurement on the mechanic testing station during the specific testing modes. The main target and benefit of the new methodology is the identification and elimination of the soft damper fixation effects and the identification and after it a separated assessment of the damper reaction force components, because in common state the total reaction force is function of displacement, velocity and acceleration of the damper piston rod.

1 ÚVOD

Technická diagnostika reprezentuje obor, který se zabývá metodami a prostředky zjišťování technického stavu objektu. Technický stav objektu určuje především schopnost vykonávat požadované funkce za určitých stanovených podmínek jeho užívání. Automobil jako diagnostikovaný objekt předurčuje svou technickou složitostí této problematice velmi široký a komplexní záběr, v němž se prolíná řada znalostí z matematiky a fyziky.

Trend vývoje směřuje od servisní (externí) diagnostiky k vlastní (interní) diagnostice, kdy s využitím sběrnice CAN (Control Area Network) propojující všechny elektronicky řízené vozidlové systémy, lze celkem snadno identifikovat znaky různých provozních závad. Vlastní integrovaný diagnostický systém vozidla bývá označován jako palubní diagnostika. Některé poruchy tento systém, z důvodů provozně technických či bezpečnostních, okamžitě signalizuje řidiči prostřednictvím palubních přístrojů, kontrolek či diagnostické soustavy, jiné stačí uložit ve formě chybových hlášení do paměti řídicí jednotky. Pokud je nelze z těchto pamětí vyvolat přímo ve vozidle, nastupuje zde externí servisní diagnostika.

Důležitost technické diagnostiky automobilu je motivována zejména snahou zvýšit aktivní a pasivní bezpečnost vozidla, snižovat ekologické zatížení životního prostředí a zvyšovat ekonomii provozu. Tyto principy přístupu jsou aplikovány i na část vozidla, jakým je podvozek. Technický stav této podsoustavy automobilu zcela přímo ovlivňuje již zmíněnou bezpečnost silničního provozu. Technická diagnostika podvozku vozidla zůstává však stále zcela neprávem ve stínu technicky i legislativně lépe propracované diagnostiky pohonného agregátu. Avšak i do oblasti diagnostiky podvozku se promítají nové přístupy, které souvisí zejména s elektronicky řízenými prvky podvozku, například se systémy protiblokovacího a protiprokluzového zařízení, elektronicky řízenou regulací reagující na statické zatížení náprav nebo tlumiče s elektronicky řízeným útlumem.

2 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA PODVOZKU VOZIDLA

Diagnostika technického stavu motorového vozidla se průběžně rozvíjela se zvyšující se technickou úrovní vozidel. Její podstatou bylo posuzování stavu dílčích skupin či příslušenství vozidla, jako např. těsnosti spalovacího prostoru, zdrojové soupravy, zapalovací soustavy, vstřikovacího zařízení, geometrie podvozku atd. S nástupem elektroniky a mikroelektroniky se tyto jednotlivé externí servisní systémy postupně slučovaly do velkých komplexních diagnostických soustav. Podvozek vozidla, jehož diagnostika je tématem této práce, je tedy jedním z několika sledovaných pod-systémů automobilu, a je předmětem jak externí servisní, tak interní popř. palubní diagnostiky.

Podvozek spolu s pohonným agregátem tvoří tzv. strojový spodek vozidla. Hlavní části podvozku tvoří rám, brzdová soustava, systém řízení a závěsy kol. Většina osobních a lehkých užitkových automobilů má bezrámovou konstrukci tedy s tzv. samonosnou karosérií.

2.1 Brzdová soustava

Motorová vozidla a až na výjimky i přípojná vozidla musí být, dle platných legislativních předpisů vybavena brzdami, které tvoří brzdovou soustavu vozidla. Legislativně je rovněž stanoven i účinek brzd. Silniční motorová vozidla musí být vybavena nejméně dvěma na sobě nezávislými brzdami, jejich ovládání musí být mechanické, hydraulické nebo pneumatické. Elektrické ovládání brzd zatím není povoleno.

Do brzdové soustavy patří mimo vlastních brzd i přídatná zařízení :

- zařízení rozdělující brzdný účinek na jednotlivé nápravy
- omezovač brzdného účinku zadní nápravy reaguje na okamžité zatížení zadní nápravy měnící se využitím užitečné hmotnosti vozidla a odlehčením zadní nápravy při intenzivním brzdění. Regulace je zpravidla mechanicko-hydraulická.
- reduktor tlaku (pouze u kapalinových brzdových soustav)
- elektronicky řízená regulace podle statického zatížení náprav
- protiblokovací a protipokluzové zařízení kol – mechanicko-hydraulická regulace těchto zařízení je již téměř zcela nahrazena elektronicky řízenou regulací tlaku v jednotlivých brzdových okruzích náprav nebo kol.

Pro účely servisní i vlastní diagnostiky vozidla jsou dále snímány zpravidla tyto parametry brzdového systému:

- tlak kapaliny v jednotlivých brzdových okruzích
- množství kapaliny v zásobní nádobce soustavy
- tloušťka obložení třecích segmentů brzd

2.2 Řízení

Řízení je mechanismus, který má zásadní vliv na bezpečnost silničního provozu a musí mu být v plánu údržby a diagnostiky věnována dostatečná pozornost. Podle konstrukce převodky řízení se rozlišují tyto druhy řízení :

- hřebenové
- šnekové
- šroubem a maticí
- s oběhem kuliček (Ross)

Parametr určující bezpečnost řízení, který je ošetřen legislativně, je mechanická vůle řízení na volant. Měření se provádí ve střední poloze řízení, tedy s koly v přímém směru.

2.3 Závěs kola

Postavení kol vůči rámu podvozku, neboli geometrie podvozku, má významný vliv na jízdní vlastnosti vozidla a bezpečnost provozu. Význam tohoto vlivu se zvyšuje zejména při změnách polohy kol a to z důvodu řízení nebo odpružení. Závěsy kol musí tedy svou konstrukcí zaručit správné vedení kola a to z hlediska kinematického i dynamického chování. Kinematické vedení zabezpečují ramena a táhla závěsu kola. Požadované dynamické chování vozidla zabezpečují odpružení, stabilizátor a tlumiče odpružení.

2.3.1 Odpružení a stabilizátor

Odpružení je zpravidla řešeno jednoduchými nebo skládanými listovými pery, vinutými nebo zkrutnými pružinami nebo vzduchovými pružinami. Odpružení zmenšuje přenos kmitavých pohybů nápravy na karoserii a chrání tak posádku i náklad před nežádoucími otřesy. Systém odpružení je z hlediska komfortu jízdy zpravidla navržen tak, aby vlastní frekvence odpružené hmoty vozidla byla v rozmezí 1–2 Hz, což je přibližná frekvence lidské chůze a lidské orgány jsou právě této frekvenci nejlépe přirozeně přizpůsobeny. Příčný stabilizátor pak eliminuje naklánění automobilu při průjezdu zatáčkou.

2.3.2 Tlumiče odpružení

Útlum kmitání nápravy, které je vybuzeno přejezdem nerovnosti, by byl zcela nedostatečný, kdyby do systému zavěšení kola nebyl zařazen účinný tlumič odpružení. Úkolem tlumiče je tlumení kmitů odpružené i neodpružené hmoty vozidla. Požadavek eliminovat nárazy pramení z faktu, že automobily jsou vzhledem k požadavku jízdního komfortu poměrně měkce odpruženy a při rázovém zatížení by tedy pružící element potřeboval velmi dlouhou deformační dráhu, aby došlo k akumulaci této deformační energie. Pokud je do systému zařazen tlumič, místo akumulace je tato energie tlumičem transformována na teplo. Konstrukce podvozku je tímto odlehčena od nežádoucího silového působení a výrazně se zvyšuje pohodlí posádky.

Na funkci tlumiče je tedy pohlíženo ze dvou hledisek. Prvním z nich je hledisko komfortu jízdy, kdy je nutno utlumit nepříjemné kmitání odpružených hmot, tedy v podstatě karoserie automobilu. Druhý aspekt je ryze bezpečnostního charakteru, kdy tlumič eliminuje kmitání neodpružených hmot. Tato otázka souvisí s potřebou zajištění optimálního kontaktu pneumatiky kola s vozovkou. Nedostatečně utlumené kmitání kola snižuje velikost tečné síly, kterou může kolo přenést na vozovku. Důsledek sníženého silového přenosu je prodloužení brzdné dráhy nebo ztráta směrové stability při přejezdu nerovnosti či náhlé změně směru jízdy např. při řešení krizové dopravní situace. V neposlední řadě dochází vlivem nedostatečného utlumení kmitů neodpružených hmot automobilu k nadměrnému opotřebení celého mechanismu závěsu kola nebo povrchu pneumatiky. Tlumič odpružení se na základě

požadavků, které jsou na jeho funkci kladeny, stal bezpochyby dominantním elementem závěsu kola, na jehož dobrém technickém stavu je přímo závislá bezpečnost silničního provozu.

3 FORMULACE PROBLÉMŮ A CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE

Určujícím komponentem podvozku automobilu se stal, z výše popsaných důvodů, tlumič odpružení. Zkoušení tlumičů za rozličných zkušebních podmínek a zjišťování odpovídajících charakteristik, které budou věrně popisovat modální parametry tlumiče, je cílem plánovaných výzkumných měření. Zjištěné parametry z těchto měření jsou cenné zejména jako vstupní podmínky pro matematické modely závěsu kola či celého podvozku vozidla. Matematické modelování podvozku vozidla jako složitého dynamického systému souvisí s vývojem tzv. aktivních řídicích prvků podvozku, které jsou schopny reagovat na měnící se podmínky v průběhu jízdy a optimalizovat nastavení podvozku z hlediska bezpečnosti, komfortu jízdy či ekonomie provozu. Zmíněný přístup v konstrukci aktivních podvozků otvírá i zcela nové možnosti ve sledování technického stavu podvozku, kde se využívá získaných signálů jako vstupních dat pro systém palubní, tedy interní diagnostiky vozidla. Trvalý monitoring, který zavčas odhalí zhoršený technický stav podvozku, je tedy výrazným přínosem pro bezpečnost provozu. Věrnost matematických modelů podvozkových skupin vozidla je podmíněna kvalitní metodikou experimentů, na jejichž základě se bude ověřovat korelace počítačových simulací s realitou. Disertační práce „Sledování technického stavu závěsu kola vozidla“ tématicky zapadá do soustavy projektů, které se zabývají modelováním podvozku automobilu, a měla by pokrývat především potřeby experimentálního zabezpečení.

Neoddiskutovatelným aspektem, proč je tlumič nejsledovanějším prvkem podvozku a proč je ústředním tématem této práce, je složitost jeho konstrukce, do níž jsou promítnuty synergické poznatky z mnoha technických disciplín, a to především z hydromechaniky, termodynamiky, tribologie atd.

Na požadavky, které by měl splňovat tlumič odpružení automobilu je zpravidla pohlíženo ze dvou hledisek. Prvních z nich je hledisko bezpečnosti, kdy je úkolem tlumiče pokud možno za všech provozních podmínek zajistit optimální kontakt kola s vozovkou pro možný přenos vzájemných sil. Tento požadavek tedy směřuje na dostatečné utlumení kmitajících neodpružených hmot automobilu. Druhým hlediskem je otázka komfortu jízdy, kdy je nutné dostatečně tlumit kmity odpružené hmoty, tedy karoserie automobilu, při přejezdu nerovnosti. Nároky na tlumič se ještě zvyšují při požadavku, aby jeho tlumící vlastnosti byly optimální při rozličných provozních podmínkách, jako např. při odlišném zatížení vozu či provozní teplotě tlumičové kapaliny. Tyto požadavky se ještě umocňují, pokud se jedná o tlumič sportovního vozu.

Na základě formulovaných problémů se chci v řešení disertační práce zaměřit na tyto cíle:

1. Sestavení a odladění měřicího řetězce testeru demontovaných tlumičů, volba vhodného programového prostředí pro vytvoření řídicí aplikace.
2. Optimalizace metodiky měření na testeru pro demontované tlumiče včetně vypracování metodiky vyhodnocování naměřených dat.
3. Experimentální ověření navržené metodiky testování demontovaných tlumičů a definování hodnotících parametrů posuzujících technický stav tlumiče odpružení.

4 REŠERŠNÍ STUDIE – DIAGNOSTIKA ZÁVĚSU KOLA VOZIDLA

4

4.1 Tlumič odpružení jako ústřední element závěsu kola

4.1

Tlumiče odpružení používané v automobilech lze dle tlumicího média rozdělit na kapalinové a plynokapalinové, jejich konstrukční provedení může být pákové nebo teleskopické. Teleskopické provedení je u osobních automobilů nejčastější konstrukční varianta. Podle smyslu působení tlumicí síly mohou být tlumiče jednočinné nebo dvojčinné. V této kapitole budou popsány v současné době používané tlumiče odpružení a zároveň naznačen směr jejich vývoje. Tato část rešerše je nutná zejména pro pochopení konstrukčních a vývojových souvislostí, kde není možné chápat reálný tlumič pouze v obecně známém fyzikálním pojetí, ve kterém je reakční síla funkcí pouze jednoho parametru – rychlosti pohybu činné části tlumiče, jak je tomu v rovnici (1).

$$F = f(v) \quad (1)$$

F... Reakční síla ideálního tlumiče

v... Rychlost činné části tlumiče

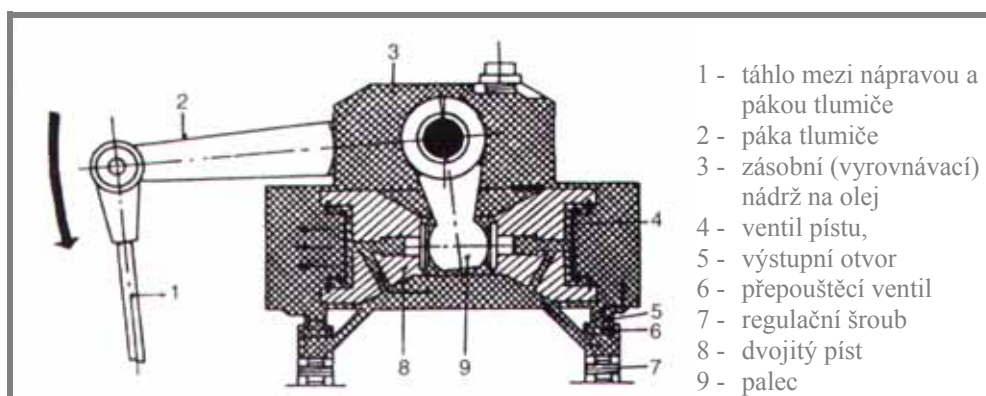
Tento fakt má vliv zejména na diagnostické a výzkumné přístupy k problematice tlumiče odpružení. Tyto aspekty budou hlouběji popisovány v následných kapitolách. Z hlediska konstrukce a diagnostického přístupu jsme tlumiče odpružení rozdělily do čtyř kategorií:

- tlumiče klasické konstrukce
- tlumiče s polohově závislým tlumením
- tlumiče s elektronicky řízeným tlumením
- tlumiče nekonvenčních konstrukcí

4.1.1 Klasické konstrukce tlumičů odpružení

4.1.1

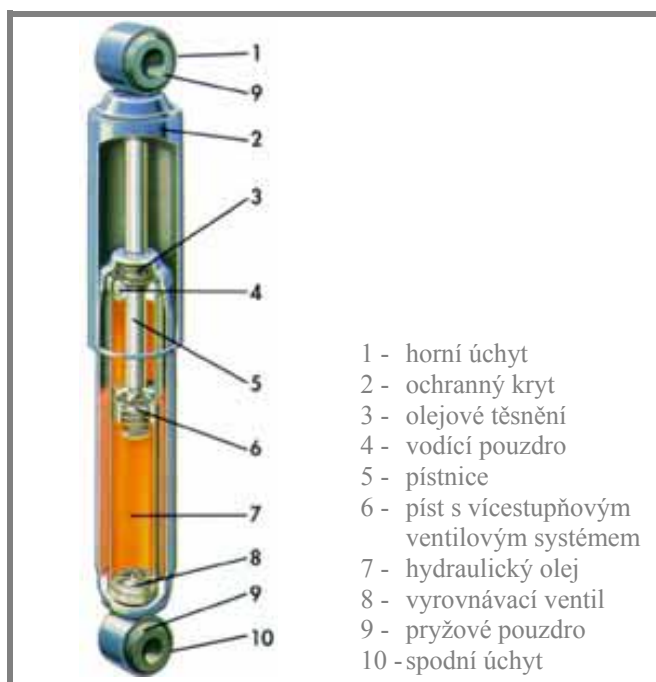
Funkce pákového dvojčinného hydraulického tlumiče (**Obr. 4.1**) je zabezpečena pákou, která je přes táhlo spojena s nápravou a přenáší pohyb na ovládací palec,



Obr. 4.1 Pákový dvojčinný hydraulický tlumič [2]

který posouvá dvojitý píst ve válci naplněném tlumičovým olejem. Zde je olej pohybem pístu přetlačován přes škrťící ventily do volného prostoru za protilehlým pístem.

Funkci dvouplášťového teleskopického dvojčinného tlumiče (**Obr. 4.2**) zajišťuje píst spojený s pístní tyčí, který protlačuje kapalinu přes otvory průtokových ventilů. Převažující část tlumící síly je tvořena hydraulickým odporem, který vzniká při škrcení průtoku systémem průtokových ventilů. Mezi vnějším pláštěm a pracovním válcem tlumiče je vyrovnávací prostor, který je od prostoru pracovního oddělen vyrovnávacím ventilem. Do vyrovnávacího prostoru je vytlačován olej o objemu, který v pracovním válci zaujímá zasunutá pístnice. Vyrovnávací prostor také kompenzuje objemové rozdíly vzniklé ohřevem kapaliny.

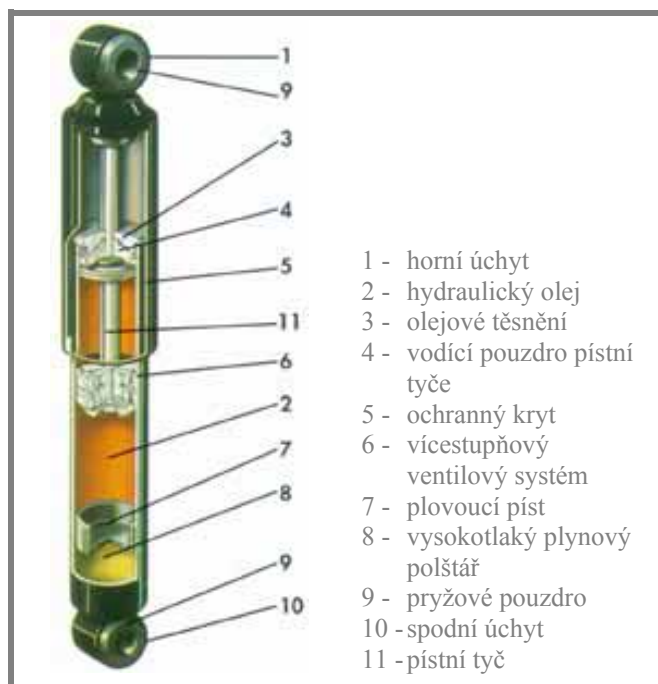


Obr. 4.2 Dvouplášťový teleskopický dvojčinný tlumič [1]

Jednoplášťový dvojčinný teleskopický tlumič (**Obr. 4.3**) je tvořen podobně jako tlumič dvouplášťový pístem s dvěma druhy škrťících ventilů, ovšem vyrovnávání rozdílů objemu pracovního prostoru pod pístem je zajištěno změnou objemu stlačeného plynu přímo v pracovním prostoru válce tlumiče. Plyn od kapaliny může být oddělen plovoucím pístem, další konstrukční varianty je použití odrazové stěny nebo uklidňovacího pístu. Tyto varianty nezabezpečují plné oddělení kapaliny od plynu, ale pouze uklidňují pohyb kapaliny v blízkosti rozhraní s plynem, což zabraňuje jejich smísení.

Z podobné konstrukce vychází i tzv. vysokotlaký plynokapalinový tlumič, v němž je vzduch nahrazen např. náplní dusíku, která je stlačena na tlak až 2,5 MPa. Hlavním důvodem je především eliminace pění olejové náplně tlumiče. Z podobného důvodu je používána i varianta vycházející z konstrukce klasického dvouplášťového tlumiče tzv. nízkotlaký plynokapalinový tlumič, kdy vyrovnávací prostor nad hladinou tlumičového oleje ve vnějším plášti je jednorázově naplněn dusíkem o tlaku

0,25-0,5 MPa. Od olejové náplně je oddělen speciálně konstruovaným těsnícím kroužkem.

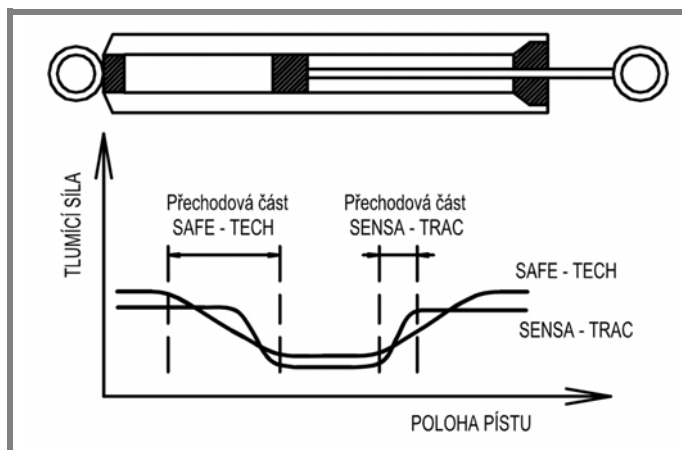


Obr. 4.3 Jednoplášťový teleskopický dvojitý tlumič [1]

4.1.2 Tlumiče s polohově závislým tlumením

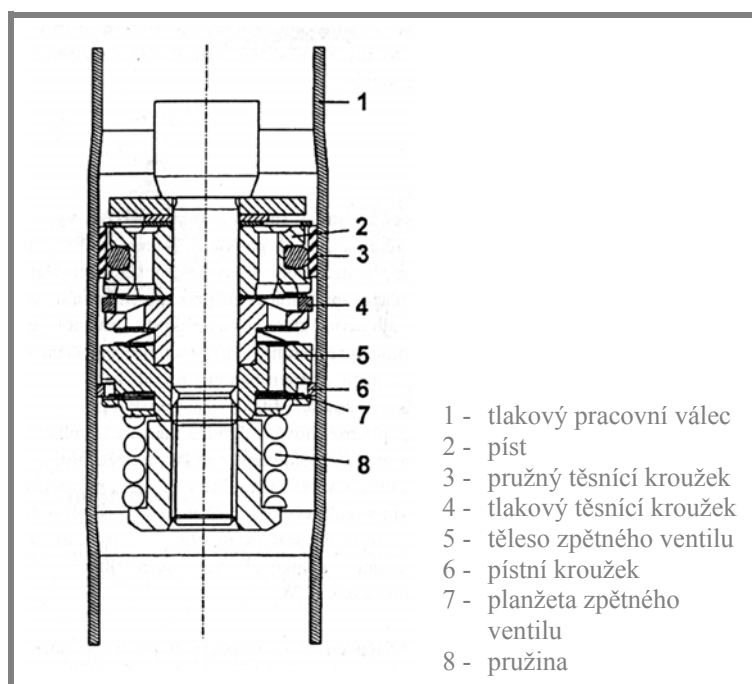
4.1.2

V podstatě principiálně jednoduchou konstrukční úpravou pracovního válce jednoplášťového dvojitý tlumiče byla vytvořena firmou Monroe koncepce závislého tlumení na poloze pístu (Position Sensitive Damping – PSD). Koncepce byla použita u tlumičů Sensa-Trac (Obr. 4.4) a vychází z faktu, že během klidné jízdy s velmi malou zátěží je zapotřebí jen velmi malá tlumicí síla, která zajišťuje především jízdní komfort, při zvýšení zatížení podvozku je třeba zvýšit tlumicí sílu pro zajištění maximálního kontaktu kola s vozovkou. Konstrukčně je tento požadavek řešen bočním rozšířením pracovního válce v jeho střední části, které



Obr. 4.4 Polohově závislé tlumení tlumičů se systémem Sensa-Trac a Sensa-Trac Safe Tech

funguje jako obtok, tlumič je tedy v této části mimořádně měkký. Inovací této koncepce vznikla výrobní řada Safe-Tech, která má přepracovanou obtokovou drážku s velice pozvolnými přechody a její tvar byl specificky přizpůsoben každému typu vozu. Pro velkokapacitní osobní automobily byla vyvinuta koncepce DCD (**Obr. 4.5**) (Displaced Continuous Damping), kde jsou tlumiče vzhledem k maximálnímu využití prostoru v šikmé poloze a tím je tedy zkrácena délka pohybu pístnice a výrazně snížena účinnost tlumení. Tento systém je v podstatě



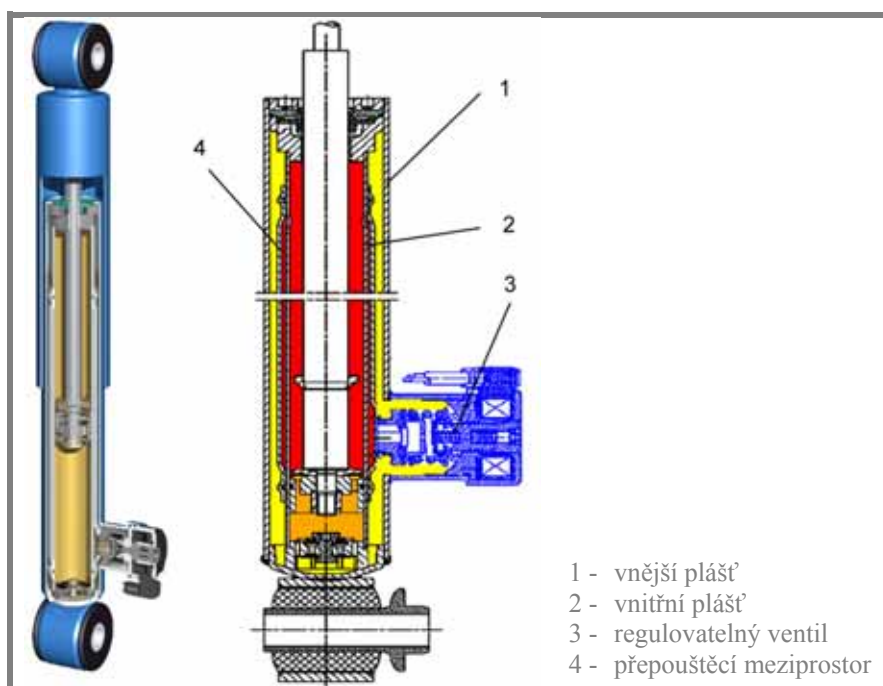
Obr. 4.5 Tlumící systém DCD [2]

tvořen klasicky pracujícím kapalinovým tlumičem, jehož válec má ovšem dva průměry. Ve střední části je průměr válce zvětšený a na obou koncích je průměr menší. Je to tedy opět princip tlumení závislého na poloze pístu.

4.1.3 Tlumiče s elektronicky řízeným tlumením

Tlumiče s elektronicky řízeným tlumením jsou ve vozidle zakomponovány jako buď zcela autonomní systémy nebo častěji jako součást komplexního systému řízení podvozku. Plynulá regulace tlumení (CDC – Continuous Damping Control) je tedy v přímém propojení se stabilizačním systémem ESP a protiblokovacím systémem ABS. Elektronická řídicí jednotka CDC přizpůsobuje hodnotu tlumení jednotlivých tlumičů odpovídající jízdě situaci a povrchu vozovky. Jedna z možných konstrukčních variant elektronicky řízeného tlumiče je na **Obr. 4.6**. Tento tlumič firmy Sachs vychází z konstrukce dvouplášťového teleskopického tlumiče, na jehož vnějším plášti je umístěn plynule regulovatelný přepouštěcí ventil. Tlumení je regulováno přepouštěním oleje z vyrovnávacího prostoru do mezipláště, který je přímo v horní části propojen s prostorem nad pístem. Ventilový systém v pístu i přepouštěcí ventil ve spodní části tlumiče, jsou konstruovány oproti klasickému

tlumiči jako jednostranné, tzn. že při roztahování tlumiče jsou zcela zavřeny, jejich funkci přebírá regulovatelný přepouštěcí ventil.



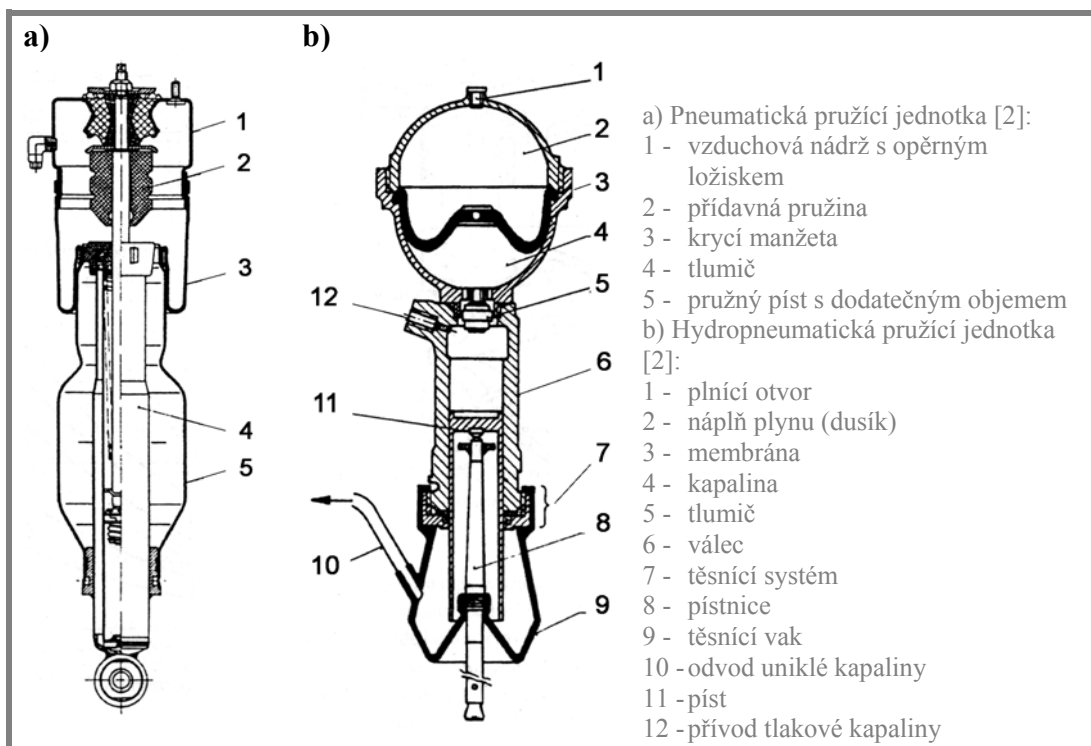
Obr. 4.6 Tlumič s elektronicky řízeným tlumením

4.1.4 Tlumiče nekonvenčních konstrukcí

Zvláštní kategorii mezi prvky závěsu kola zaujímají pneumatické a hydropneumatické pružící jednotky, které zastávají funkci jak pružin, tak i tlumičů. Pneumatické pružící jednotky (Obr. 4.7.a) jsou často řešeny jako kombinace plynokapalinových tlumičů a vzduchových pružin. Jednotky jsou obvykle automaticky regulovány bez možnosti zásahu řidiče za všech provozních podmínek. Regulace zajišťuje korekci výšky vozidla na základě snímání náklonu vozu v podélné a příčné rovině. Aby se zamezilo poklesu předku vozidla při brzdění, nahustí se vzduchové komory předních tlumících jednotek. Elektronické prvky zajistí současně pokles tlaku ve vzduchových komorách zadní nápravy. Při průjezdu zatáčkou se stabilita karoserie zajišťuje obdobným způsobem, avšak regulací tlaku vzduchu v příčném směru. Tlumící charakteristiku podvozku nastavuje řidič sám, tak lze přizpůsobit vlastnosti vozidla stylu jízdy, zatížení, charakteru provozu i povrchu vozovky.

Hydropneumatická pružící jednotka pracuje na rozdíl od pneumatické s konstantní hmotností pružícího plynu. Jako plynová náplň je obvykle použit dusík. Typickým představitelem této kategorie jsou pružící jednotky, jimiž jsou osazeny nápravy osobních vozů Citroen. Řez touto hydropneumatickou jednotkou je uveden na Obr. 4.7.b. Základní částí je válec, ve kterém se pohybuje píst spojený pákovým převodem s ramenem zavěšeného kola. S horní částí válce je spojena tlaková nádoba kulového tvaru, kterou rozděluje pryžová membrána na dvě části. V horní polokouli je stlačený pružící plyn, prostor mezi membránou a pístem je vyplněn kapalinou. Mezi válcem a spodní polokoulí tlakové nádoby jsou umístěny přepouštěcí ventily,

kteří zajišťují škrcení kapaliny při pohybu pístu, tím je zajištěn tlumící účinek. Rozdílné zatížení vozidla je kompenzováno přívodem kapaliny ze zásobníku do pracovního prostoru válce, čímž je tedy zajištěna regulace světlé výšky vozidla. Nová koncepce těchto pružících jednotek dovoluje spolu se světlou výškou také úpravu tvrdosti a tuhosti samotného pružení přímo během jízdy dle charakteru povrchu vozovky.



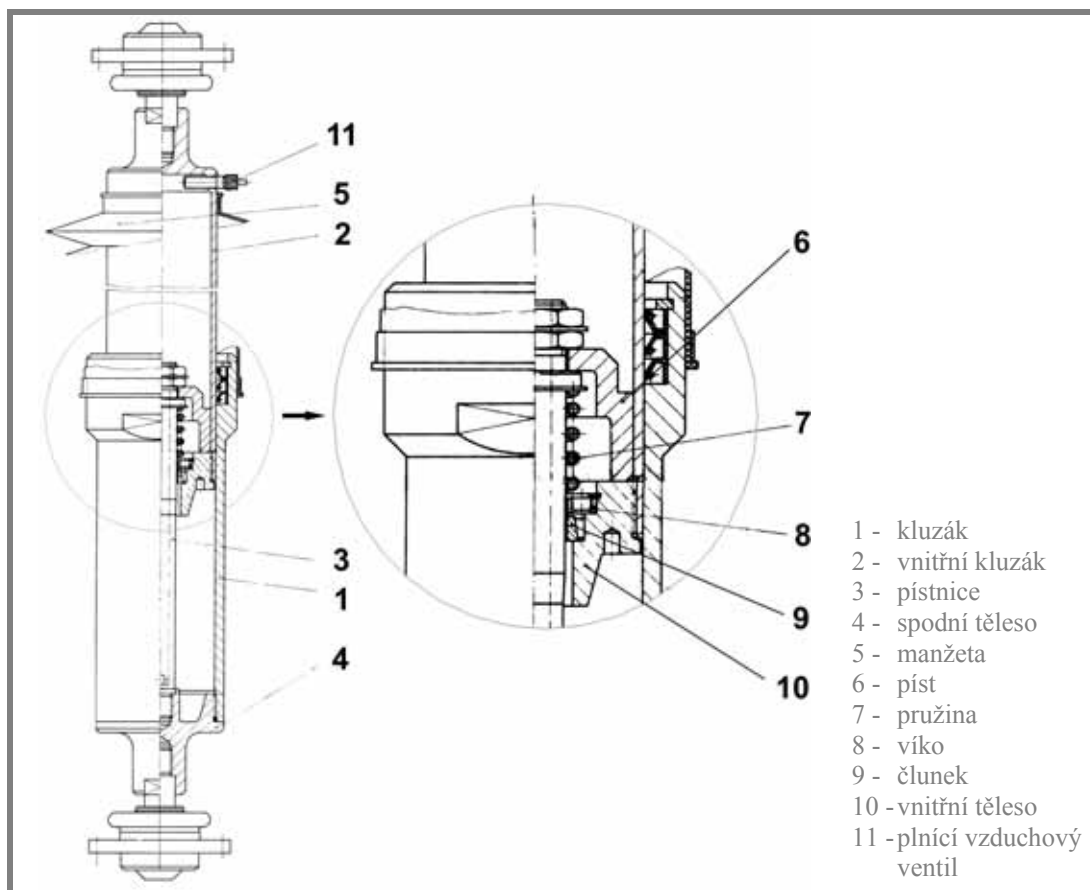
Obr. 4.7 Pružící jednotky s vestavěným tlumičem

Mezi teleskopické hydropneumatické pružící jednotky, které zastávají funkci pružiny i tlumiče odpružení patří i jednotky typu Krňávek (dle Ing. Krňávek – konstruktér). Na Obr. 4.8 je konstrukce ze sedmdesátých let, kdy byla tato koncepce zejména díky své jednoduchosti používána v autokrosovém sportu. Historie těchto tlumičů začala v ČZ Strakonice, kdy se Ing. Krňávek zabýval vývojem hydropneumatických jednotek tohoto typu pro použití v motokrosovém a enduro sportu.

Jednotka je tvořena do sebe se zasouvajícími kluzáky, které jsou na koncích opatřeny úchyty pro ukotvení k ramenu nápravy a ke karoserii popř. k nápravnici. Činná část tlumiče je tvořena pístem, který je přes nepohyblivou pístnici spojen s vnějším kluzákem. Při stlačení tlumiče tedy píst vůči kluzáku stojí a pohybuje se vnitřní kluzák, jehož spodní konec je ukončen tělesem.

Útlum vzniká průtokem oleje přes otvory ve víku a kolem člunku v tělese. Větší útlum při roztahování je zabezpečen přesuvným člunkem, který se ve fázi roztahování tlumiče přesune na dno tělesa a zmenší tím průtočnou šterbinu pouze na mezikruží mezi jím a pístnicí. Jako doraz při plném roztahování funguje pružina umístěná na pístnici mezi pístem a tělesem. Doraz při plném stlačení je zabezpečen hydraulicky, kdy dochází ke škrcení oleje ve šterbině mezi kuželovými plochami

spodního a vnitřního tělesa. Stlačený vzduch v prostoru nad pístem funguje jako pneumatická pružina. Objemem vzduchu lze regulovat světlou výšku vozidla a zároveň tuhost odpružení.



Obr. 4.8 Teleskopická hydro-pneumatická jednotka

Většina zmiňovaných konstrukcí popsaných v **kap.4.1** využívá pro svou funkci plynné médium. Použití stlačitelného média je využíváno z důvodu kompenzace objemových změn uvnitř tlumiče nebo, v případě pružících jednotek s vestavěným tlumičem, přímo nahrazuje standardní mechanické pružiny. Plynného média je využíváno také k eliminaci nežádoucích projevů tlumících kapalin (zejména pění) v případě nízkého zatížení. Pokud budeme chtít popsat silové účinky současných reálných automobilových tlumičů, je zcela zřejmé, že reakční síla tlumiče není závislá pouze na rychlosti činné části (případě teleskopických tlumičů na rychlosti pístnice), jak je předpokládáno v obecné rovnici tlumení (1). Tato rovnice musí být tedy modifikována minimálně o parametr určující polohu pístnice (2).

$$F = f(v, z) \quad (2)$$

F... Reakční síla tlumiče

v... Rychlost činné části tlumiče

z... Poloha pístnice tlumiče

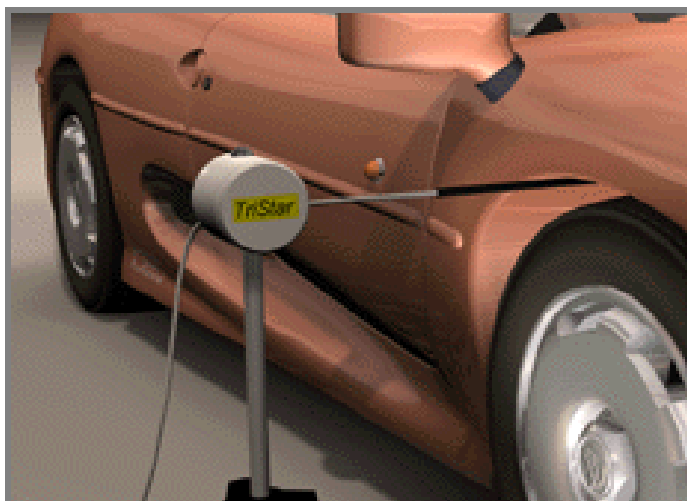
Jak již bylo zmíněno v úvodu **kap.4** teleskopické konstrukční provedení je u silničních vozidel nejčastější konstrukční varianta, proto i v následných kapitolách, kde budou hlouběji popsány východiska technické diagnostiky a přístupy k popisu dynamických vlastností tlumiče, se omezíme právě na teleskopické provedení s pohyblivou pístnicí. Z hlediska popisu dynamických vlastností a technické diagnostiky není toto omezení nikterak podstatné, pouze zavádíme do textu jisté terminologické předpoklady, kdy za pohyblivou činnou část tlumiče, která přenáší silové účinky na ostatní prvky vozidlového zavěšení kola je pístnice tlumiče (nikoli páka, jak je tomu u pákového provedení).

4.2 Východiska diagnostiky tlumičů odpružení

Správnost funkce tlumičů odpružení je podmíněna jeho vyhovujícím technickým stavem, o němž lze získat prvotní povědomí i vizuální kontrolou přímo v zamontovaném stavu ve vozidle. Základem jsou neporušené úchyty tlumiče v karoserii a na nápravě vozidla, včetně pryžových dílů uchycení. Podmínkou je také těsnost tlumiče. Vodítkem může být i hlučnost tlumiče, kdy při klonění vozidla jsou slyšitelné kovové zvuky nebo dochází k nepravidelnému chodu pístnice. Postupy vizuální kontroly mohou odhalit vážné poruchy tlumiče, ovšem, jak je zřejmé, pro objektivní posouzení jeho stavu jsou tyto metody samozřejmě nedostačující. V následných podkapitolách budou tedy popsány diagnostické přístupy používané v technické praxi. Základní dělení těchto metod je na metody bezdemontážní a metody, kdy je tlumič vyšetřován demontovaný z vozidlové zástavby. Jedním z dílčích cílů této práce, popsaných v **kap.3**, je optimalizace metodiky měření na testeru pro demontované tlumiče, což již předesílá vyšší zaměření právě na metody demontážní, nicméně i přesto považuji za důležité popsat v následné podkapitole alespoň ve zkrácené formě některé bezdemontážní přístupy, jelikož jejich vývoj byl a je úzce spojen s kvalitní laboratorní metodikou demontážní diagnostiky.

4.2.1 Metody bezdemontážní diagnostiky tlumičů

V servisní praxi jsou pro svou vysokou operativnost, komfort a rychlost obsluhy rozšířeny zejména metody bezdemontážní diagnostiky tlumičů. Obecným problémem bezdemontážní diagnostiky je fakt, že je hodnocen nedemontovaný celek, a tedy prvek, jehož stav se má hodnotit je do jisté míry ovlivněn jeho okolím. Tedy v případě bezdemontážního hodnocení tlumiče je fakticky hodnocen stav celého závěsu kola a to do míry, která je závislá na použité diagnostické metodě, která je zpravidla založena na dokmitovém nebo rezonančním principu. Impulsní dokmitový bezdemontážní test hodnotí měrný útlum odpružené hmoty, která je rázově vybuzena ve svislém směru. Jelikož zkušební rychlosti při tomto druhu testu jsou poměrně malé, je možné získat poměrně přesné hodnocení stavu tlumiče, které není příliš ovlivněno stavem celého závěsu. Předpokladem je ovšem kvalitní zpracování signálu o pohybu karoserie. Vybuzení svislého pohybu karoserie může být realizováno ručním rozhoupáním, přičemž pohyb karoserie je snímán mechanicky jak je tomu např. u zařízení TriStar Shock Tester (**Obr. 4.9**) nebo opticky - tester M-Tronic (**Obr. 4.10**).

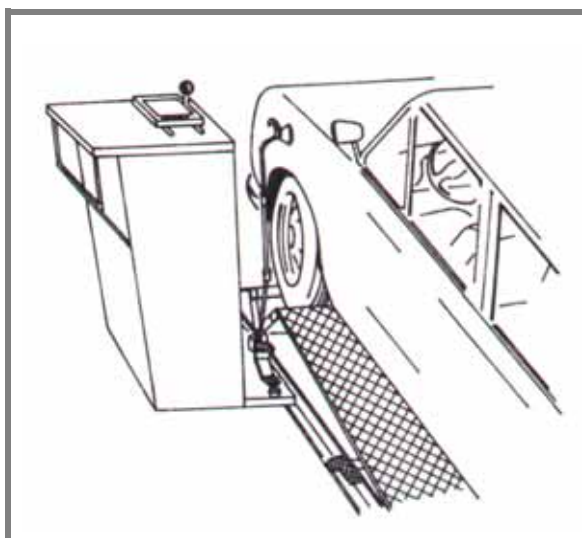


Obr. 4.9 TriStar Shock Tester [7]

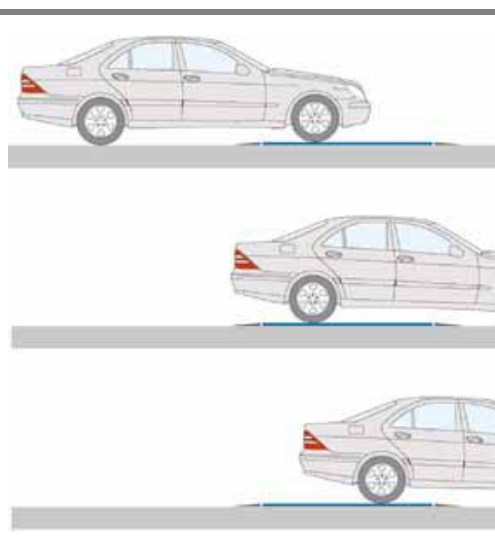


Obr. 4.10 M-Tronic SDT 2000/U

Svislý pohyb karosérie lze vybudit také pádem nápravy nebo kola z malé výšky za pomoci speciálního zvedáku (**Obr. 4.11**), nebo prudkým zabrzděním z malé rychlosti na speciální brzdné plošině, která snímá kmitání odpružené hmoty jako brzdou reakci – zařízení HEKA Univers (**Obr. 4.12**).



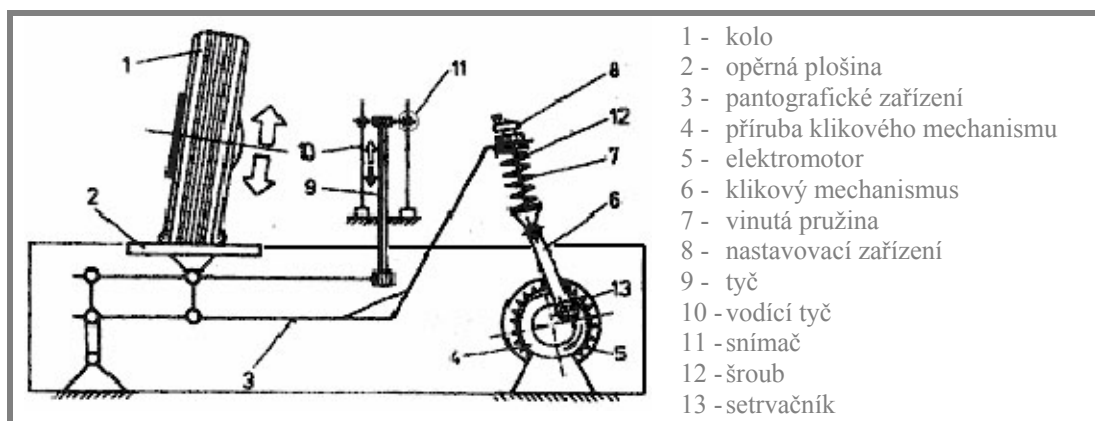
Obr. 4.11 Zkušební zařízení Koni [9]: padací zařízení a zapisovač



Obr. 4.12 Zkušební zařízení HEKA Univers

Testery využívající ručního rozhoupání jsou velmi výhodné zejména pro svou vysokou operativnost a mobilitu, ovšem problémem je testování nejen sportovních automobilů, ale i běžných osobních vozů s tužším nastavením podvozku, kdy docílení rozhoupání karosérie v požadovaných mezích jednočlennou obsluhou je v některých případech prakticky nemožné.

Rezonanční bezdemontážní amplitudový test se provádí rozkmitáním plošiny, na které je najeto měřeným kolem (**Obr. 4.13**).



Obr. 4.13 Boge Shock tester [5]

Plošina je rozkmitána pomocí vačkového mechanismu do frekvence vyšší než je vlastní frekvence plošiny s kolem. Po vypnutí pohonu klesá frekvence kmitání přes rezonanční oblast až do zastavení, přičemž je zaznamenáván pohyb kmitů plošiny. Vyhodnocován je rozkmit pomocné hmoty testeru.

Rezonanční bezdemontážní adhezni test posuzuje přilnavost kola ke kmitající plošině. Kmitající plošina simuluje nerovnosti vozovky a současně registruje přítlakovou sílu kola. Výsledkem zkoušky je nejmenší hodnota přítlaku v průběhu testu (Schenck DiTecFP30, Tritec Diagnostic - **Obr. 4.14**).



Obr. 4.14 Tritec Diagnostic System

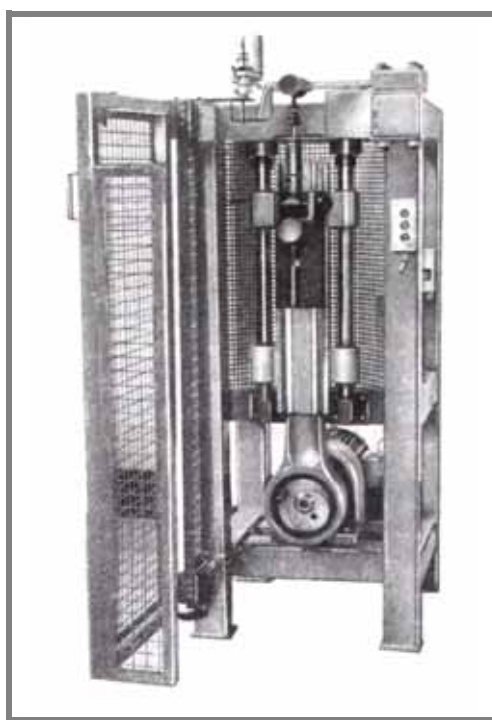
4.2.2 Testování tlumičů demontovaných z vozidlové zástavby

Pro objektivní vyšetření stavu tlumiče je nutné přistoupit k metodám, kdy je tlumič testován zcela samostatně. Důvod pro použití těchto přesných měření je především vývoj tlumičů, měření pro reklamační řízení či méně často opravy tlumičů. Měření se provádí na speciálních stolicích, v nichž je tlumič za úchyty upnut a zatěžován

v různých režimech stlačováním a roztahováním. Cyklický přímočarý pohyb je realizován mechanicky, hydraulicky nebo pneumaticky.

Mechanické měřicí stanice

Mechanický pohon zkušebních zařízení tohoto druhu je zpravidla řešen pomocí klikového mechanismu a křížáku, na který je připevněn spodní úchyt tlumiče (**Obr. 4.15**). Horní úchyt je spojen s cejchovaným měřícím prvkem síly, jehož průhyb je pomocí pákových převodů graficky zaznamenán. Záznamem je tedy průběh útlumových sil během celého zdvihu tlumiče. Konstrukci klikového mechanismu je nutné volit tak, aby poměr poloměru kliky k délce ojnice byl dostatečně malý, aby vznikal téměř sinusový pohyb. U modernizovaných verzí těchto stolic jsou síla, zdvih, rychlost popř. teplota tlumičového oleje snímány elektronicky a signály těchto veličin jsou dále zpracovány pomocí připojeného analyzátoru. Stolic zpravidla umožňují skokovou nebo plynulou změnu frekvence zkušebních cyklů a délky zdvihu. Nevýhodou mechanických stolic je jejich pevně daný tvar buďícího cyklu, tato nevýhoda je však dostatečně vyváжена konstrukční jednoduchostí.



Obr. 4.15 Mechanická měřicí stolice [10]

Hydraulické měřicí stanice

Měřicí stanice využívající hydraulický pohon jsou většinou řešeny jako počítačem řízené hydraulické pulsátory (**Obr. 4.16**), které nabízejí vysokou variabilitu pohonných režimů (sinus, stupňovitý, čtvercový atd.), pomocí řídicího softwaru lze měřicí režimy kombinovat do různých měřicích cyklů, což především snižuje časovou náročnost prováděných testů.

Tato funkce je zejména výhodná při dlouhodobých životnostních zkouškách tlumičů. Na moderních měřicích stanicích lze provádět i simulace přidavných provozních zatížení tlumičů, kdy stanice řídí současně až čtyři servohydraulické kanály. První kanál ovládá akční člen pohonu, tedy zatížení v ose tlumicí jednotky, druhý kanál simuluje boční zatížení, dále je hydraulicky natáčeno s horním úchytem tlumiče. Čtvrtý kanál je použitelný pro testování aktivních tlumících jednotek. Tyto testy jsou vhodné např. pro testování vzpěr Mc-Pearson.



Obr. 4.16 Hydraulická měřicí stolice MTS 850

Pneumatické měřicí stanice

Testovací zařízení tlumičů s pneumatickým pohonem nejsou příliš rozšířena, avšak jejich jednoduchá konstrukční provedení jsou zajímavou levnější alternativou hydraulických měřicích stolic. Výrobce těchto zařízení je např. americká firma



Obr. 4.17 Pneumatický pulsátor E-5 Shock Dyno



Obr. 4.18 Jednoduchý tester s mechanickým zapisovačem

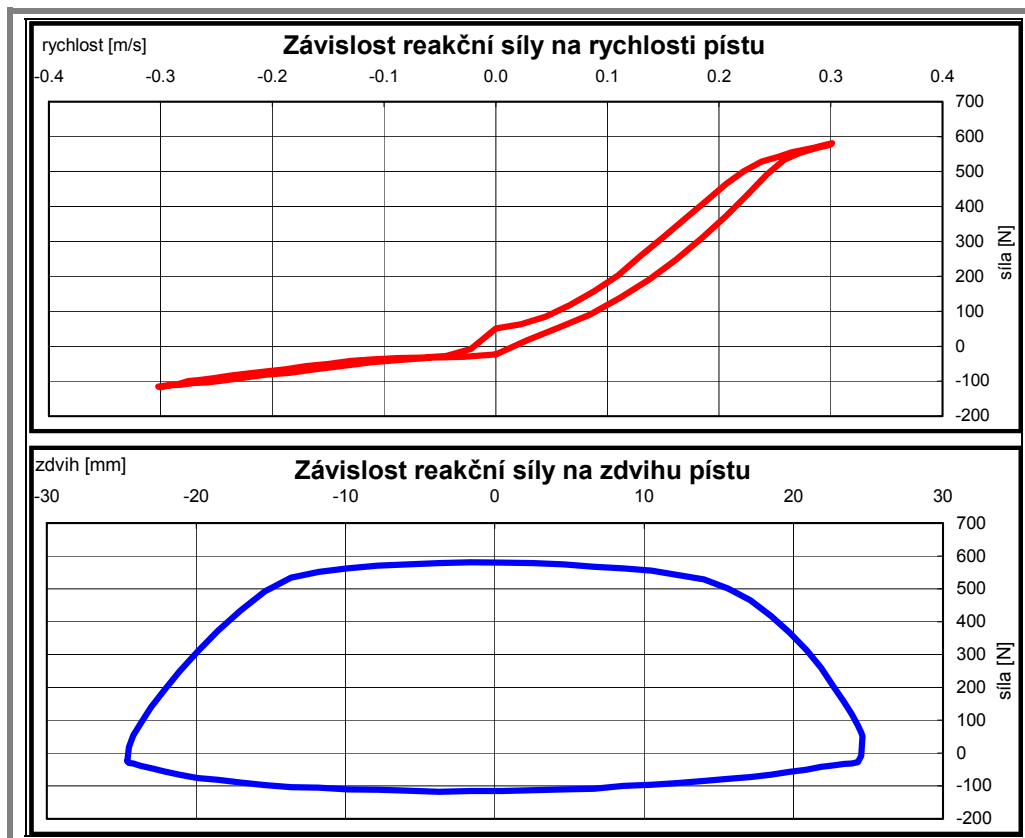
ND-Tech (**Obr. 4.17**). Jejich použití je výhodné zejména v servisech, které mají standardně k dispozici zdroj a rozvod tlakového vzduchu. Nabízená zařízení využívají ke zpracování a vyhodnocení naměřených dat připojené PC. Jednodušší verze generují hodnotící závislosti tlumiče pomocí mechanického zapisovače (**Obr. 4.18**). Nespornou výhodou těchto zařízení je především jejich mobilnost.

4.2.3 Hodnocení stavu a vlastností tlumiče odpružení

4.2.3

Cílem výše zmíněných diagnostických metod popsaných v **kap.4.2.1** a **4.2.2** je určit technický stav tlumiče nebo, v případě výzkumných měření, získat jeho charakteristické parametry. U bezdemontážních metod je získána zpravidla jedna nebo více specifických fyzikálních veličin, které se porovnají s předem stanovenými limitními hodnotami, které reprezentují míru opotřebení tlumiče nebo usuzují na možné specifické závady. Danou veličinou může být dle použité metody měrný útlum odpružené hmoty, rozkmit pomocné hmoty nebo přítlak kola během rezonančního testu. Při vyhodnocování výsledků získaných z bezdemontážních metod je nutné mít stále na zřeteli fakt, že není vyhodnocován pouze stav tlumiče, ale stav celého závěsu kola, přičemž míra ovlivnění okolními vazbami závisí na použité diagnostické metodě.

Jedním z cílů této práce je vytvoření metodiky měření a hodnocení stavu tlumiče pomocí demontážní metody, proto i kapitola **4.2.3** se bude zabývat v současnosti používanými přístupy v hodnocení technického stavu a vlastností tlumiče na základě výsledků kdy je tlumič posuzován odděleně od vozidlové zástavby. U těchto metod



Obr. 4.19 F-v a F-z charakteristiky tlumiče

se zpravidla porovnávají změřené charakteristiky tlumiče s tzv. ideální charakteristikou resp. s charakteristikou ideálního tlumiče. Charakteristiky, jimiž se popisují dynamické vlastnosti tlumiče jsou především závislosti reakční síly na kinematických veličinách, tedy posunutí (z) nebo rychlosti (v) pístnice (**Obr. 4.19**). Plocha pod křivkou F - z vyjadřuje tlumící práci během jednoho dvojzdvihu. Velikost takto vzniklé plochy a tvar křivky je měřítkem pro účinek tlumiče. Někdy se tyto závislosti označují také jako výkonové charakteristiky tlumiče.

Charakteristika ideálního tlumiče

Charakteristika ideálního tlumiče se často využívá jako porovnávací závislost pro vyhodnocování naměřených charakteristik získaných metodami, které byly popsány v **kap.4.2.2**. Pojetí ideálního tlumiče spočívá v předpokladu, že reakční síla tlumiče je pouze síla tlumící a je funkcí pouze rychlosti pístnice, jak je tomu v rovnici (3).

$$|F_T| = b \cdot v^m \quad (3)$$

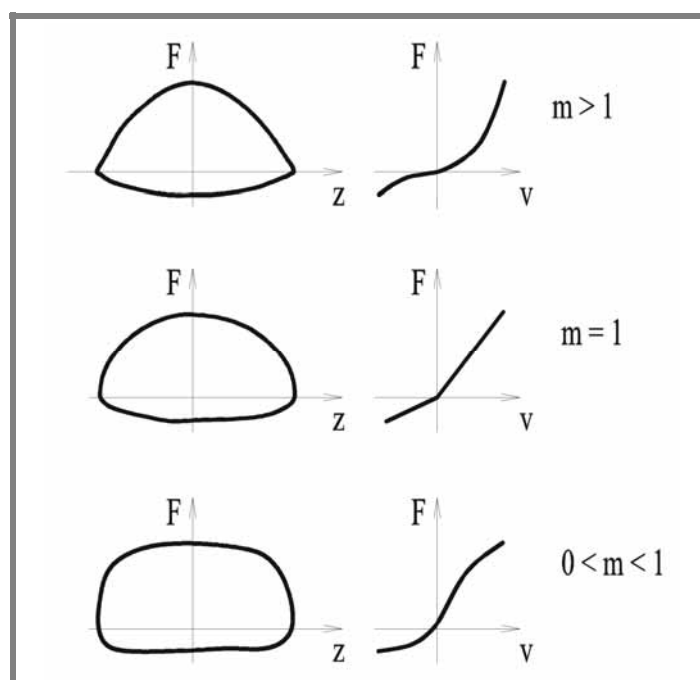
F_T ... Tlumící síla ideálního tlumiče

b ... Konstanta tlumení

v ... Relativní rychlost pístnice vůči válci tlumiče

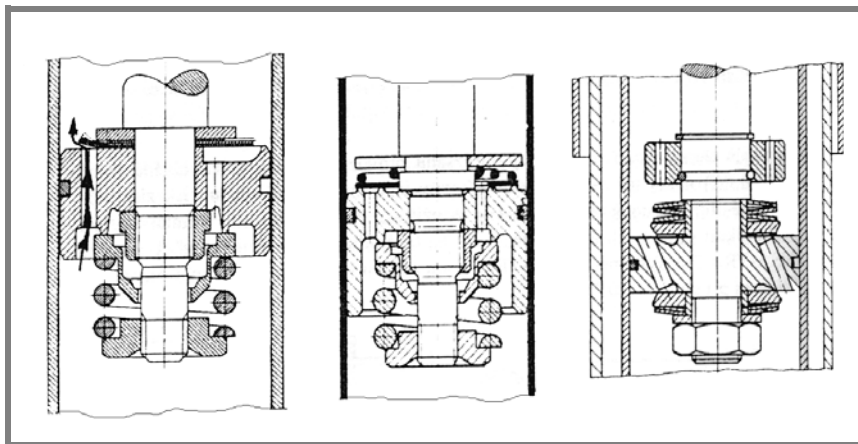
m ... Exponent tlumení

Tlumící účinek je dán konstantou tlumení (b), jaký průběh budou mít F - v charakteristiky tlumiče je dáno hodnotou exponentu tlumení (m). Exponent tlumení určuje tedy základní typy ideálních tlumících charakteristik tlumičů odpružení (**Obr. 4.20**).



Obr. 4.20 Tlumící charakteristiky ideálního tlumiče:
 $m > 1$ – progresivní, $m = 1$ – lineární, $0 < m < 1$ – degresivní

Pokud se zaměříme na požadavek přiblížit se vlastnostmi reálného tlumiče k tlumiči ideálnímu, je třeba vyjít z funkce reálného tlumiče, která spočívá v eliminaci nárazů a kmitů přeměnou mechanické energie v teplo. Mechanická energie je mařena hydraulickým odporem při průtoku oleje vhodně navrženými škrťacími ventily (**Obr. 4.21**), přičemž hodnota konstanty tlumení (b) a tlumícího parametru (m) je závislá na konstrukci škrťacích ventilů a na parametrech hydraulické kapaliny.



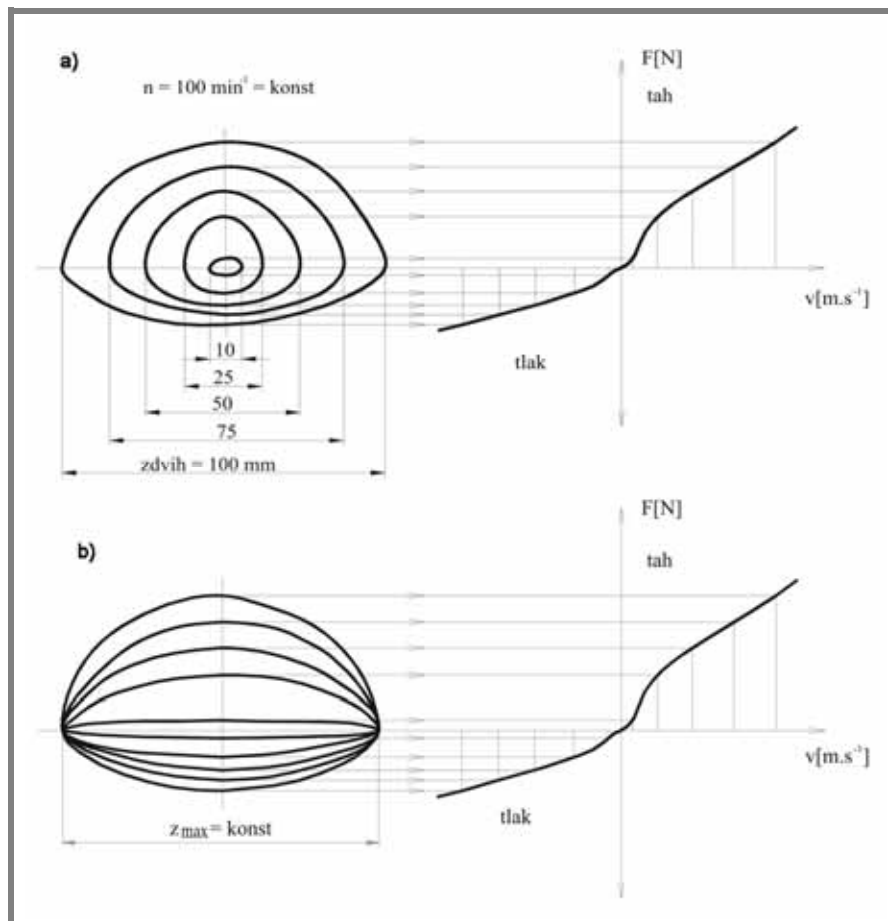
Obr. 4.21 Konstrukce průtokových ventilů

U dvojčinných teleskopických tlumičů je dvojice škrťacích průtokových ventilů umístěna na pracovním pístu tlumiče. Při stlačování tlumiče, tedy když se píst v tomto případě pohybuje směrem dolů, proudí kapalina soustavou otvorů na větším poloměru, které jsou překryty ocelovou membránou s poměrně malou přitlačnou silou. Při roztahování kapalina proudí otvory na menším poloměru, které jsou překryty deskou, která je k pístu přitlačována pružinou. Rozdílnost tlumící síly při roztahování a stlačování tlumiče je tedy dána rozdílným průřezem menších otvorů na menším poloměru a větších otvorů na poloměru větším a rozdílnými přitlačnými silami membrány a desky, které otvory kryjí. Hydraulický odpor a tedy i tlumící síla je tedy zpravidla při roztahování větší než při stlačování. Útlum při roztahování tlumiče lze většinou částečně měnit pomocí matice, kterou se nastavuje předpětí šroubové pružiny. Kombinacemi různých průtokových ventilů, přitlačnými silami a charakteristikami pružin se ladí požadované tlumící vlastnosti tlumiče. U dvouplášťových teleskopických tlumičů závisí jeho vlastnosti také na provedení vyrovnávacího ventilu, u jednoplášťového na přetlaku plynu ve vyrovnávacím prostoru.

Charakteristika reálného tlumiče

Přehled o tlumících vlastnostech reálného tlumiče v celém jeho pracovním režimu lze obdržet jeho proměřením na zkušebním stavu v různých rychlostních a zdvihových režimech, přičemž zkušební rychlost lze např. u mechanického stavu s klikovým pohonem ovlivnit jak otáčkami kliky, tak změnou zkušebního zdvihu. U měřících stolic starších generací, kde byl záznam síly a zdvihu prováděn mechanickým zapisovacím zařízením byly obvykle naměřeny pouze F-z

charakteristiky v režimu konstantních otáček kliky při postupných změnách zdvihu, nebo při konstantním zdvihu při postupných změnách otáček kliky (**Obr. 4.22**).



Obr. 4.22 Naměřené F-z charakteristiky a sestrojené F-v charakteristiky tlumiče F-z měreno: a) při konstantních otáčkách, b) při konstantním zdvihu

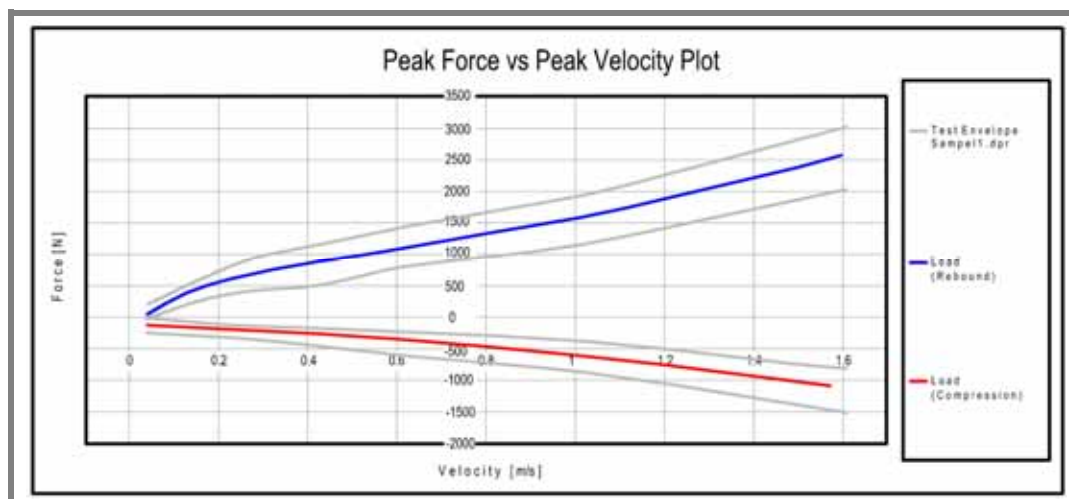
Rychlostní charakteristika se obvykle sestrojila na základě charakteristiky zdvihové, ze které byly odečteny maximální tlumící síly v tahu a tlaku při zdvihu, který je roven nule. Tedy v okamžiku kdy píst tlumiče prochází střední polohou a má tedy nulové zrychlení.

V případě, kdy je odečítána hodnota síly v bodě, kdy je zrychlení rovno nule, se prakticky eliminuje působení setrvačných sil jako projevu pohyblivých hmot tlumiče. V literatuře je tato závislost označována jako rychlostní charakteristika tlumiče, ve skutečnosti se jedná spíše o závislost amplitud síly na amplitudách zkušební rychlosti při různých zdvihových resp. otáčkových režimech zkušebního zařízení. Na zkušebních zařízeních, které jsou schopny získat časové závislosti rychlosti pístu během jednoho dvojzdvihu, je možné generovat reálné F-v závislosti.

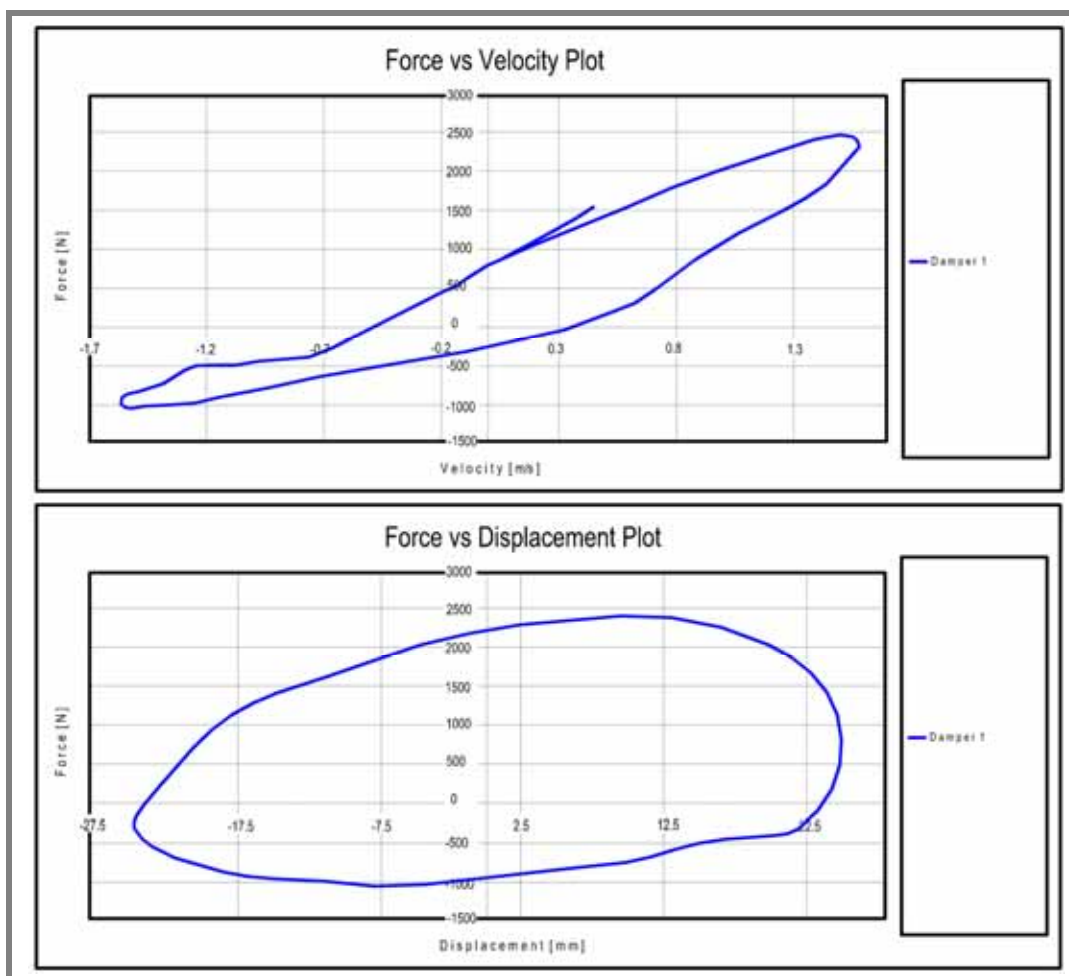
Rychlost lze získat několika možnými postupy:

- derivací snímaného posuvu pístu resp. pístnice tlumiče
- integrací snímaného zrychlení pístnice tlumiče
- u zařízení s klikovým pohonem výpočtem na základě snímání pootočení kliky

Přesnější obdobou sestrojených F-v charakteristik, které jsou generovány na základě odměřených závislostí F-z, je odměřená závislost špičkových hodnot síly na špičkových hodnotách rychlosti za zvyšující se frekvenci pulzování. Charakteristika tohoto typu odměřená na hydraulickém pulsátoru MTS 850 (zařízení popsáno v **kap.4.2.2**) je zobrazena na **Obr. 4.23**.



Obr. 4.23 Závislost špičkových hodnot tlumících sil na špičkových hodnotách rychlosti pístitice



Obr. 4.24 F-v a F-z charakteristiky tlumiče naměřené na hydraulickém pulsátoru MTS 850

Tento typ závislosti se nejčastěji používá jako hodnotící ukazatel, zda tlumič splňuje parametry předepsané výrobcem, týkající se velikosti tlumících sil v tažném a tlačném směru pro dané hodnoty rychlosti pístnice. Součástí charakteristik bývají i křivky vyjadřující obálku opakovaných zkoušek nebo křivky požadovaných limitních sil tlumiče. Tato charakteristika ovšem nepodává dostatek informace pro odhalení závad tlumičů. Pro tyto účely odhalení závad jsou výhodnější F-v závislosti okamžitých hodnot. Na **Obr. 4.24** jsou zobrazeny F-v a F-z závislosti tlumiče, které byly odměřeny na výše zmíněném zkušebním zařízení. F-v závislost do níž jsou zavedeny okamžité hodnoty během jednoho dvojzdvihu nabývá, oproti charakteristikám sestrojeným (**Obr. 4.22**), podobu smyčky, což znamená že v úvratích zdvihu, kdy je rychlost pístnice nulová, není nulová měřená síla. Tedy chování tlumiče vykazuje jistý druh silové hystereze. Popisem rozdílů mezi ideální a reálnou charakteristikou a rešerší doposud známých příčin se bude zabývat následná kapitola.

Příčiny rozdílů ideálního a reálného tlumiče odpružení

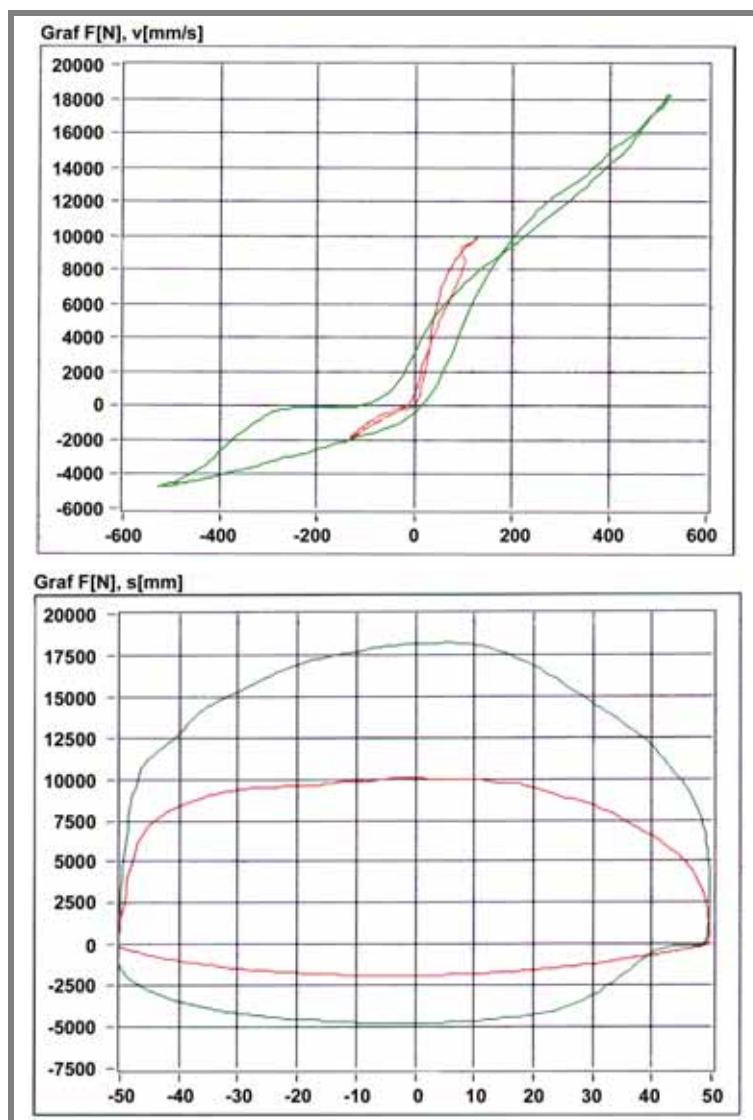
Obecně lze říci, že rozdíly v charakteristikách reálného a ideálního tlumiče mají následující příčiny:

- závada tlumiče odpružení, tlumič vykazuje nežádoucí silové projevy v určitých pracovních režimech
- silová deviace oproti ideálnímu tlumiči je přirozeným chováním tlumiče, jelikož obecně reakční síla není pouze funkcí rychlosti pístnice, jak bylo popsáno rovnicí **(3)** v **kap. 4.2.3**.
- kombinace obou předešlých příčin

Rozlišení a posouzení obou příčin je často základním problémem posuzování stavu tlumičů odpružení.

Závady tlumiče odpružení

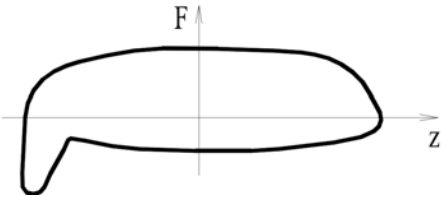
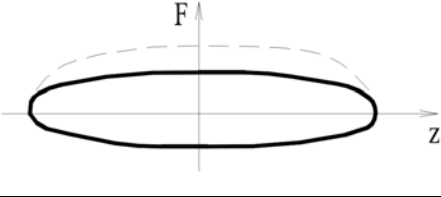
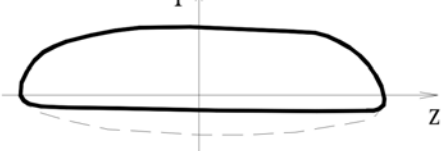
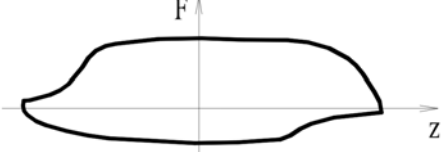
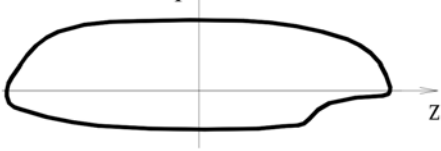
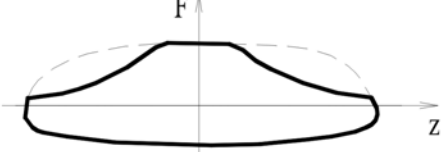
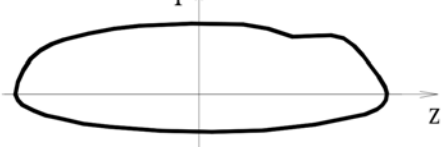
Na **Obr. 4.25** je zobrazena silová závislost tlumiče ve dvou různých frekvenčních režimech zatěžování při stejném zdvihu. Tlumič byl odměřen na hydraulickém pulsátoru ve firmě Ateso. Na F-v charakteristikách je dobře patrné rozfázování průběhu síly a rychlosti, které se na F-v charakteristice projevuje vytvořením smyčky. Tento projev je částečně způsoben vlivem plynové náplně tohoto nízkotlakého dvouplášťového tlumiče. Při nižší frekvenci zatěžování, tedy kdy se dosahuje i nižší maximální rychlosti ve střední poloze tlumiče, je F-v i F-z charakteristika tlumiče v pořádku, ale při vyšší frekvenci dochází k nežádoucímu silovému propadu na začátku tlačného zdvihu, k tzv. prodlevě tlumiče, která je patrná na F-z charakteristice. Tato vada má svůj ekvivalent i na charakteristice F-v. Prodleva tlumiče na začátku tlačného zdvihu závislá na frekvenci zatěžování je typickým projevem zpěnění tlumičového oleje. Tento příklad tedy poukazuje na kombinaci závady a přirozeného projevu nízkotlakého plynokapalinového tlumiče.



Obr. 4.25 Průběhy F-v a F-z dvouplášt'ového tlumiče pro dvě různé frekvence zatěžování

V **Tab. 1** jsou uvedeny typické závady tlumiče odpružení a jejich příslušný projev v F-z charakteristikách. Tabulka byla publikována firmou Ateso. Závadou jsou nesprávná množství tlumícího media, což může při malém množství způsobit zavzdušnění pracovního prostoru tlumiče, z charakteristik je také možno usuzovat na nesprávnou funkci škrticích ventilů, způsobenou jejich netěsností, nebo na opotřebované pracovní části tlumiče, tedy netěsnost ve dvojici píst – pracovní válec.

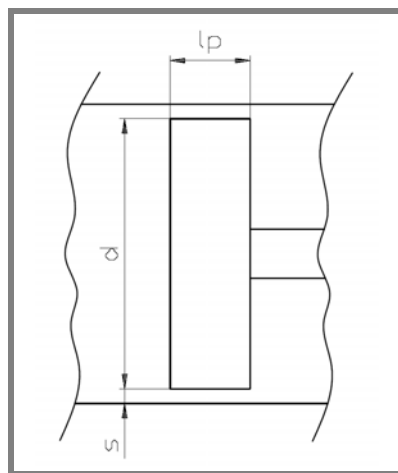
Tab. 1 Typické závady tlumičů odpružení

F-z charakteristika tlumiče	Popis závady
	<p>Silový nárůst na konci tlačného zdvihu</p> <ul style="list-style-type: none"> - způsobeno obvykle zvýšeným množstvím tlumičového oleje - nutnost úpravy množství náplně na předepsanou míru
	<p>Silový účinek snížen v tažném zdvihu</p> <ul style="list-style-type: none"> - netěsnost tlačného ventilu (diskový ventil nad pístem) vlivem jeho poškození, opotřebení vodítka, nečistot v oleji - opotřebením zvětšená vůle mezi pístem a pracovním válcem tlumiče
	<p>Silový účinek snížen v tlačném zdvihu</p> <ul style="list-style-type: none"> - netěsnost tažného ventilu (ventil pod pístem) způsobená jeho poškozením nebo nečistotami v oleji
	<p>Silový pokles na počátku tažného a tlačného zdvihu</p> <ul style="list-style-type: none"> - zavzdušnění prostoru pod pístem vlivem menšího množství oleje - možný únik oleje vlivem opotřebovaných těsnících částí
	<p>Silový pokles na začátku tlačného zdvihu – prodleva tlumiče</p> <ul style="list-style-type: none"> - dochází ke zpěnění tlumičového oleje
	<p>Silový pokles na začátku a konci tažného zdvihu</p> <ul style="list-style-type: none"> - vliv pasivních odporů
	<p>Pulzující průběh síly</p> <ul style="list-style-type: none"> - opotřebovaný pracovní válec

Vliv parametrů tlumící kapaliny na projev reálného tlumiče

Na hodnotu konstanty tlumení a tedy i na tlumící sílu mají rozhodující vliv parametry hydraulické kapaliny jako pracovního media tlumiče odpružení. Níže uvedené odvození bylo publikováno v lit. [7].

Dle lit. [12] je konstanta tlumení přímo úměrná dynamické viskozitě tlumičové kapaliny, odvození závislosti je provedeno na zjednodušeném modelu škrťacího ventilu, který je nahrazen válcovou štěrbinou okolo pístu a je předpokládáno ustálené laminární proudění (**Obr. 4.26**).



Obr. 4.26 Zjednodušený model škrťacího ventilu

Pro případ zjednodušeného modelu škrťacího ventilu (**Obr. 4.26**) platí pro průtok Q štěrbinou Poiseuillova rovnice:

$$Q = \frac{\pi \cdot d \cdot s^3 \cdot \Delta p}{12 \cdot \eta \cdot l_p} \quad (4)$$

d ... průměr pístu tlumiče

s ... tloušťka štěrbiny

Δp ... tlaková diference na pístu

η ... dynamická viskozita tlumičové kapaliny

l_p ... délka pístu

Objemový průtok a síla na pístu lze jednoduše vyjádřit pomocí vztahů (5) a (6):

$$Q = v \cdot S_s \quad (5) \quad S_s \dots \text{plocha štěrbiny}$$

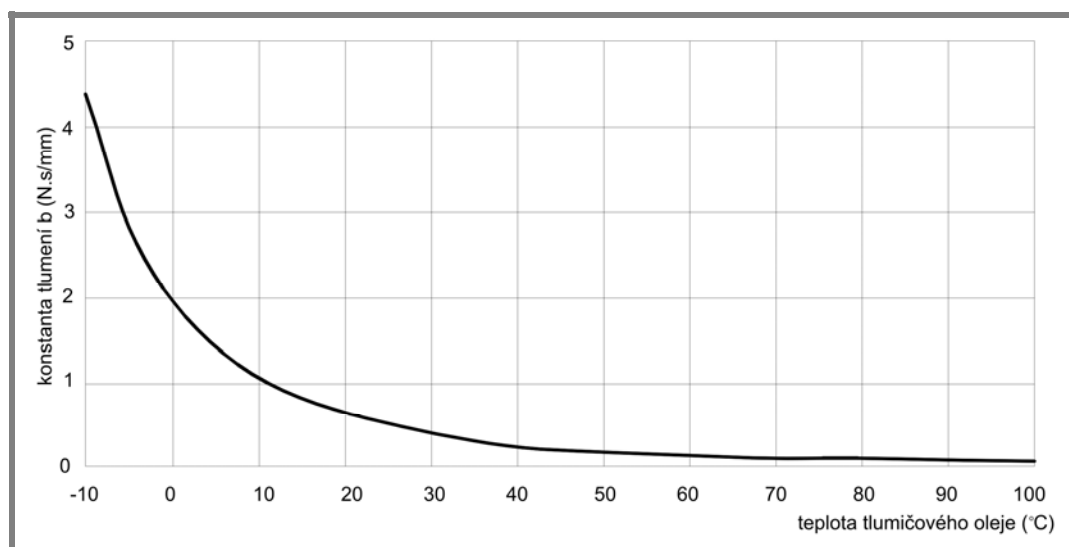
$$F = \Delta p \cdot S_p \quad (6) \quad S_p \dots \text{plocha pístu}$$

Dosazením vztahů (5) a (6) do rovnice (4) a matematickou úpravou obdržíme vztah:

$$F = \frac{3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot l_p \cdot d^2}{s^2} \cdot v = b \cdot v \quad (7)$$

Ze vztahu (7) je tedy patrné, že tlumící síla je kromě geometrických parametrů štěrbiny přímo úměrná dynamické viskozitě tlumičové kapaliny. Dynamická viskozita je značně závislá na teplotě a tuto vlastnost přebírá i konstanta tlumení. **Obr. 4.27** vyjadřuje závislost konstanty tlumení na provozní teplotě tlumičového oleje. Je nutné podotknout že se jedná o konstantu, která byla vypočtena tímto zjednodušeným

způsobem a tedy v reálných podmínkách bude možným turbulentním prouděním progresivita křivky snížena, ovšem vliv teploty na tlumící sílu je i přesto významný.



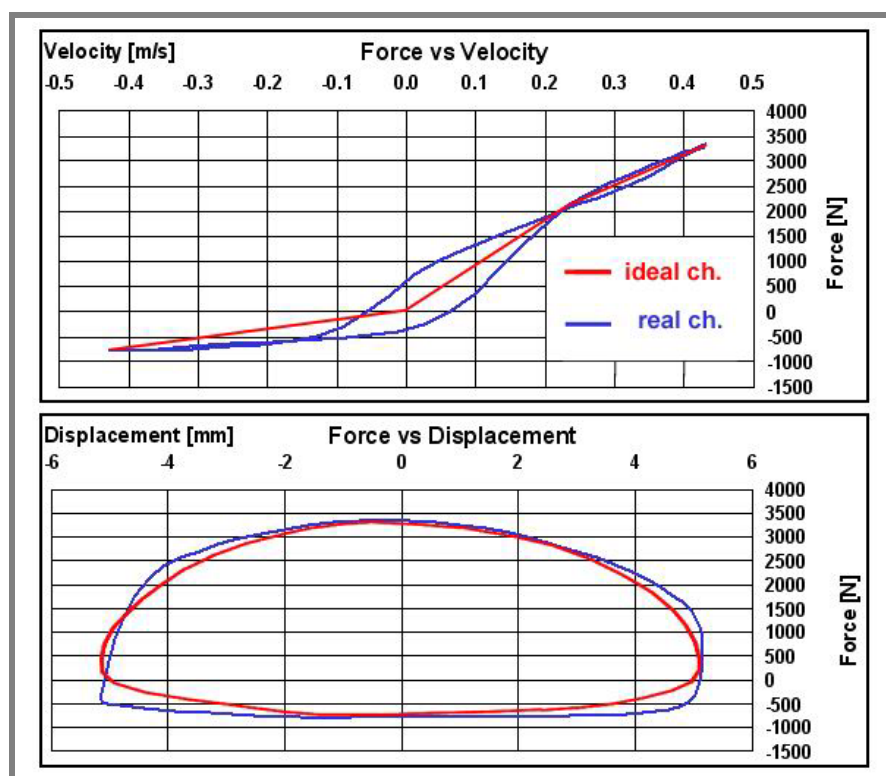
Obr. 4.27 Závislost konstanty tlumení b na teplotě tlumičového oleje

Vliv silové závislosti na projev reálného tlumiče odpružení

Standardně se vychází z předpokladu, že silová závislost tlumiče odpružení je dána rovnicí (3), tedy že reakční síla je závislá pouze na jednom parametru, a sice relativní rychlosti pístnice vůči válci tlumiče. V tomto případě má rychlostní charakteristika tlumiče podobu jednoznačné křivky, jejíž tvar je závislý na konstantě tlumení (b) a exponentu tlumení (m). Změřením silové závislosti reálného tlumiče však zjistíme, že charakteristika reálného tlumiče se blíží charakteristice ideálního tlumiče pouze při velmi nízkých frekvencích. Se zvyšující se frekvencí budících kmitů se charakteristika odchyluje od charakteristiky ideální a je patrný hysterezní charakter této křivky. Porovnání charakteristik reálného a ideálního tlumiče je demonstrováno na Obr. 4.28.

Důvody pro popsané chování reálného tlumiče vychází především z jeho konstrukce (kap.4.1):

- plynová náplň tlumiče – stlačitelná náplň působí jako pneumatická pružina, výsledná reakční síla tlumiče má tedy složku závislou na poloze pístnice
- uchycení tlumičů do zástavby závěsu kola je zpravidla realizováno přes pružné členy – charakter mechanické pružiny se značnou silovou hysterezí
- jednotlivé pohybující se komponenty tlumiče jsou hmotné a ovlivňují silově systém setrvačnými silami, které budou závislé na zrychlení pohybujících se komponent
- zrychlení kapaliny v přívodních kanálech škrtkících elementů tlumiče – v lit.[13] je definována tzv. inerciální složka reakční síly tlumiče, která taktéž způsobuje hysterezní projev rychlostní charakteristiky tlumiče. Inerciální složka síly je závislá na zrychlení tlumící kapaliny v přívodních kanálech škrtkících ventilů a na časové změně hybnosti sloupců kapaliny v pracovních prostorech tlumiče.



Obr. 4.28 F-v a F-z charakteristiky reálného a ideálního tlumiče

Na základě výše zmíněných poznatků, je nutné definovat obecnou silovou závislost reakční síly tlumiče:

$$F = f(z, v, a) \quad (8)$$

F ... reakční síla tlumiče
 z ... poloha pístnice
 v ... relativní rychlost pístnice vůči válci tlumiče
 a ... zrychlení pohyblivých částí tlumiče

Při identifikaci jednotlivých složek je vhodné rozdělit obecnou rovnici na dílčí závislosti podle možnosti jejich matematického popisu:

$$F = f_1(z) + f_2(v, a) \quad (9)$$

Funkce $f_1(z)$ představuje vlastnosti pružného uložení tlumiče nebo plynové náplně tlumiče. V obou případech se jedná o poměrně snadno matematicky definovatelné závislosti. Funkce $f_2(v, a)$ je dle lit.[14] nazývána jako globální charakteristika tlumiče, která ovšem nelze jednoduchým matematickým způsobem definovat.

Identifikace jednotlivých silových složek rovnice (9) představuje základní problém při modelování, popisu a hodnocení tlumiče odpružení. Postupy, jak jednotlivé silové složky separovat a identifikovat a posléze zapracovat do metodiky posuzování stavu tlumiče je předmětem výzkumné části této práce.

5 REALIZACE EXPERIMENTÁLNÍHO PRACOVIŠTĚ

Problematika sledování technického stavu závěsu kola, jak již vyplývá z předchozích kapitol, zahrnuje poměrně široké spektrum dílčích problémů. A tedy zúžení této problematiky zaměřením se na určující komponent závěsu kola, tedy tlumič odpružení, je logickým důsledkem systémového přístupu.

Pro možné mapování problematiky tlumičů odpružení bylo nutné realizovat testovací stav. V rámci projektu fondu FSI VUT jsem dokončil projekt, jehož náplní byl návrh zkušební stolice Gillop 1.4 pro testování demontovaných tlumičů. Požadavky na zkušební stolici byly následující:

- variabilní mechanická konstrukce, která nebude např. délkově limitována pro testování předních tlumících jednotek motocyklů
- dostatečně tuhá konstrukce, která bude minimálně ovlivňovat přesnost měřícího zařízení
- variabilita budícího signálu z hlediska velikosti amplitudy a frekvence
- on-line zobrazení měřených dat a jejich archivace pro možnost dalšího zpracování
- zařízení by mělo být alespoň částečně mobilní charakter (v rámci laboratoře)

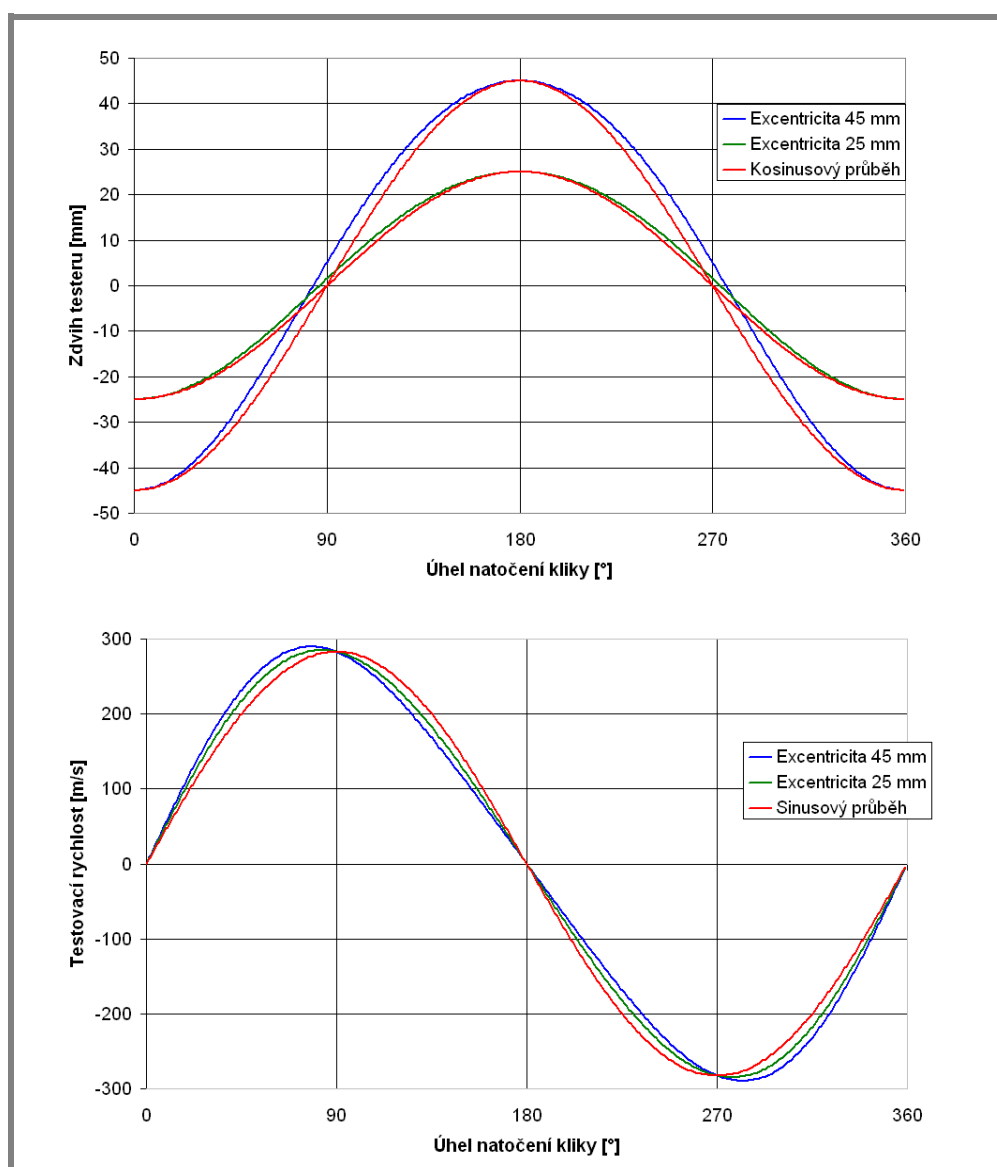
5.1 Mechanická konstrukce testeru Gillop 1.4

Nosnou část stolice tvoří masivní svařovaný základ a příčkou vyztužené stojny (**Obr. 5.1**). Nutnou vlastností nosné konstrukce je dostatečná tuhost, která zabezpečí zachycení silových reakcí od tlumiče i při vyšších zkušebních rychlostech a vyloučí nežádoucí projevy vibrací.



Obr. 5.1 Měřící stolice Gillop 1.4

Kinetické buzení měřicí stolice je zajištěno klikovým mechanismem s křížákem. Mechanismus je přes řemenový převod poháněn stejnosměrným elektromotorem, jehož otáčky jsou řízeny tyristorovým regulátorem. Nevýhoda klikového pohonu oproti hydraulickému je možnost pouze pulzačního cyklu jednoho daného tvaru, ovšem ta je plně převážena konstrukční jednoduchostí. Klika tvořená čepem a setrvačником umožňuje čtyři různá nastavení excentricity (5; 12; 25; 45 mm) a tedy možnost zkoušení ve čtyřech různých zdvihových režimech. Dostatečná stavební výška stolice dovoluje upínání mechanismů až do délky 1400 mm. Vyšetřovaný vzorek je na obou koncích upnut v univerzálních úchytech. Plášť tlumiče je uchycen zpravidla na pohonné části a pístnice na pevné, kterou tvoří ukotvení siloměru. Výšková poloha siloměru je stavitelná, a je závislá na poloze posuvné příčky na stojinách a umístění vymežovacích podložek siloměru. Siloměr lze tedy ustavit v celé pracovní výšce testeru s krokem 12,5 mm, což umožňuje vysokou délkou variabilitu testovaných vzorků.



Obr. 5.2 Průběhy zkušebního zdvihu a rychlosti během pracovního zdvihu

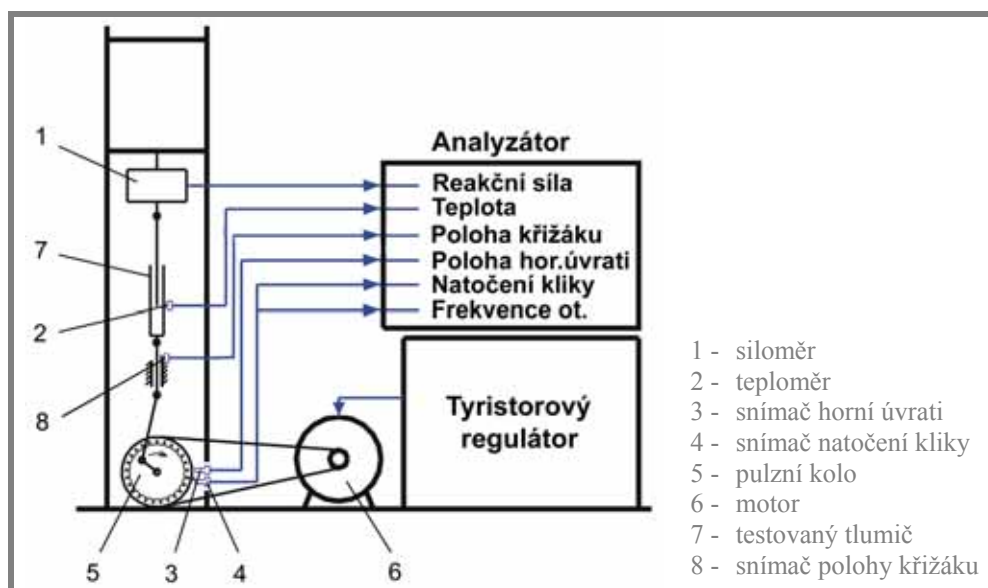
Průběh zkušební rychlosti a zdvihu je podobný sinusovému resp. kosinusovému průběhu a deviace průběhu je odvislá od velikosti nastavené excentricity kliky. Pro přesnou informaci o průběhu kinematického buzení je na **Obr. 5.2** zobrazen průběh posunutí (zdvihu) a rychlosti pohonné části testeru v porovnání se sinusovým průběhem. Ze zmíněného porovnání vyplývá, že budicí signál tohoto zkušebního zařízení lze prakticky považovat za sinusový.

5.2 Měřicí řetězec testeru Gillop 1.4

Charakteristiky, kterými se standardně popisují vlastnosti tlumiče je závislost reakční síly na parametrech kinematického buzení. Reakční síla je snímána membránovým tenzometrickým siloměrem (**Obr. 5.3**). Siloměr je uchycen mezi rám a horní úchyt tlumiče. Rozsah siloměru je ± 8000 N. Pro vyhodnocování kinematických veličin jsou použity dva přístupy:

- Ze znalosti kinematiky klikového mechanismu, je na základě snímání úhlového natočení kliky vyhodnocována rychlost a zdvih pohonné části testovacího zařízení, tedy parametry kinematického buzení tlumiče.
- Polohovým indukčním senzorem je snímána okamžitá poloha křížáku klikového mechanismu a rychlost popř. zrychlení jsou získány derivací měřeného signálu.

Využity budou obě informace, systém snímání klikového mechanismu je využíván především pro diagnostické účely, kdy bude umožněno on-line sledování rychlostních charakteristik, přičemž nebude nutné používat problematickou on-line derivaci měřeného signálu. Signál s indukčního čidla polohy je určen především pro výzkumná měření a následný postprocessing tedy zpracování archivovaných dat.



Obr. 5.3 Schéma měřicího řetězce zařízení Gillop 1.4

Natočení kliky je snímáno magnetickým Hallovým čidlem, které detekuje pulsy od pulzního ozubeného kola, které je uchyceno k pohonné řemenici. Poloha horní úvrati klikového mechanismu je určena na základě pulsu z druhého Hallova snímače, které snímá průchod raménka, které je nastavitelně připevněno na ozubeném kole. Jako

doplňující parametr je polovodičovým teploměrem snímána teplota pláště tlumiče, kterou lze s jistou nepřesností považovat za teplotu tlumičového oleje, která má významný vliv na jeho viskozitu. Sběr a vyhodnocení dat ze všech snímačů zajišťuje analyzátor DEWE-2010, osazený měřicími moduly, jehož výrobcem je firma Dewetron [17]. Signál ze siloměru je přiveden do můstkového modulu, signály z teplotního a Halových čidel zpracovávají napěťové moduly. Pro přesné určení frekvence otáčení pohonné řemenice je použit ještě frekvenční modul, který taktéž zpracovává signál z prvního Hallova snímače. Všechny tyto moduly umožňují zesílení a filtraci signálu. Analyzátor Dewe-2010 je osazen měřicí kartou NI 6034-E, kterou produkuje firma National Instruments [16].

5.3 Řídící program testeru Gillop 1.4

5.3

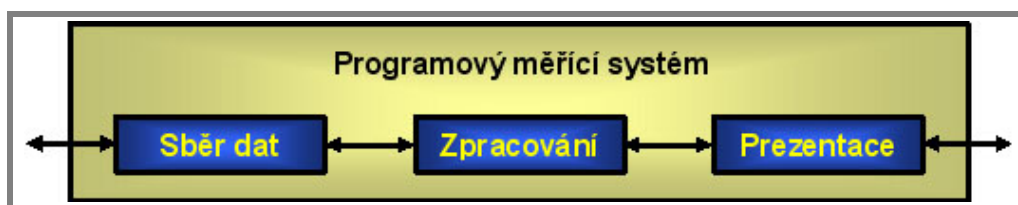
Počáteční požadavky na konečnou podobu obslužného programu testeru Gillop 1.4 lze vyjádřit v následujících bodech:

1. Komunikace s měřicí kartou a zásuvnými moduly.
2. Možnost kalibrace vstupních signálů.
3. On-line zpracování a prezentace měřených dat.
4. Archivace měřených dat s informací o testovaném vzorku.
5. Náhled a porovnání archivovaných dat.

5.3.1 Volba vhodného programového prostředí

5.3.1

Dle úvodních požadavků na obslužný program byl výběr vhodného programovacího prostředí zaměřen na systémy, které jsou produkovány přímo pro oblast měřicí problematiky. Důvodem je především návaznost těchto systémů na měřicí hardware. Obecně všechny měřicí programové systémy řeší základní problémy, které jsou uvedeny na **Obr. 5.4**.



Obr. 5.4 Schéma programového měřicího systému

Produkty zaměřené na tuto problematiku nabízí celá řada výrobců a ve většině případů jsou to právě společnosti, které se zabývají i vývojem a produkcí měřicího hardwaru. Měřicí software je nabízen buď jako uzavřený systém, který je např. součástí měřicích karet a nelze jej rozšiřovat nebo upravovat dle požadavků uživatele, nebo jako otevřený systém, kdy se v nejširším pojetí jedná o vývojová prostředí, která jsou určena pro tvorbu měřicích aplikací. V **Tab. 2** je uveden přehled některých výrobců a příslušných produktů, které ve větší či menší míře postihují oblasti uvedené na **Obr. 5.4**.

Tab. 2 Měřicí programové systémy

Výrobce	Produkt	Popis produktu
Advantech	Labtech Control	monitorování průmyslových procesů
	Snap - Master	modulární programový systém
Burr-Brown	Hypersignal Workstation	integrováný systém pro sběr dat, práci se signály a prezentaci
Keithley MetraByte	Viewdac	vývojové prostředí pro sběr dat, řízení, analýzu a grafiku
	Test Point	grafické programování v prostředí Windows
Hewlett-Packard	HP VEE	grafické programování v prostředí Windows
Wavetek	WaveTest	tvorba řídicích programů pro GPIB nebo VXI systémy
National Instruments	LabView	grafický programovací jazyk
	LabWindows/CVI	textový jazyk pro tvorbu měřicích systémů
	BridgeView	monitorování a řízení technologických procesů, technologie jako LabView
	DasyLab	grafický systém pro sběr a zpracování dat, jednodušší obdoba LabView
Moravské přístroje Alcor a.s Zlín	Control Panel	určeno hlavně pro průmyslovou automatizaci, velice zajímavý nízkonákladový produkt vysoké úrovně
Merlin s.r.o.	DISYS	systém pro měření a analýzu dat, výkonný systém
IPP Measure s.r.o.	EfLab	sběr dat a předzpracování, možná kalibrace měřicího řetězce, jednoduchý systém s minimálními nároky na HW

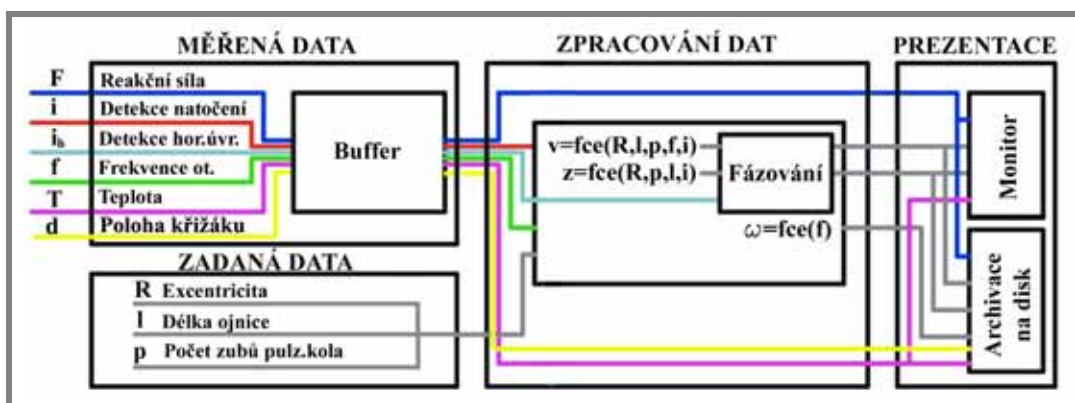
Z uvedených programových prostředí byl zvolen produkt společnosti National Instrument LabView a hlavní důvod byl především způsob programování, které je řešeno graficky, resp. objektově. Tento způsob tvorby aplikace přibližuje problematiku programování i „technikům – neprogramátorům“, kdy klasické textové programování je nahrazeno tvorbou grafického schématu a následnou kompilací do programovacího kódu, přičemž se jedná o produkt vysoké uživatelské úrovně umožňující řešit výpočtově náročné programové operace jako např. on-line derivaci, filtraci a prezentaci, což je umožněno tzv. sekvenčním snímáním dat. V neposlední řadě byl upřednostněn i fakt, že v analyzátoru Dewe 2010 je použita měřicí karta stejného výrobce, což předesílá bezproblémovou programovou podporu tohoto hardwaru.

5.3.2 Popis řídicího programu

Řídicí program testeru Gillop 1.4 byl tvořen s cílem, aby vznikl uživatelsky přehledný a kvalitní produkt, který bude řešit požadavky uvedené v úvodu **kap.5.3**.

Principy programové analýzy snímaných signálů

Řídicí program je strukturován do třech základních bloků, v nichž je řešen vstup, zpracování a prezentace měřených dat (**Obr. 5.5**). Vstupní informací jsou data zadaná uživatelem popisující geometrické parametry zkušebního zařízení a data měřená. Snímané parametry testovacího zařízení jsou reakční síla tlumiče, pulsy od ozubeného kola, které představují pootočení kliky pohonného mechanismu o daný úhel, frekvence těchto pulzů, puls reprezentující polohu horní úvrati, okamžitá poloha křížáku klikového mechanismu a teplota pláště tlumiče. Vzorky z jednotlivých snímaných kanálů jsou ukládány do tzv. bufferu, ze kterého jsou vyčítány pro další zpracování. Vyčítání je realizováno v mezičasech, kdy právě neprobíhá sběr, přičemž sběr dat má v tomto řetězci nejvyšší časovou prioritu. Použití dočasného ukládání do bufferu umožňuje tedy současné provádění sběru dat a jejich zpracování, které je řešeno v druhém funkčním bloku.



Obr. 5.5 Principiální schéma obslužného programu

Výpočet zdvihu a rychlosti zkušebního zařízení je proveden dle rovnic (10) a (11). Rovnice jsou funkcí úhlu natočení kliky a parametrů geometrie klikového mechanismu.

$$v = R \cdot \omega \cdot \left(\sin\left(\frac{2\pi \cdot i}{p} + k\right) + \frac{R}{2 \cdot l} \cdot \sin\left(\frac{4\pi \cdot i}{p} + 2 \cdot k\right) \right) \quad (10)$$

$$z = R \cdot \left(\frac{R}{4 \cdot l} \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot i}{p} + k\right) - \frac{R}{4 \cdot l} \cdot \cos\left(\frac{4\pi \cdot i}{p} + 2 \cdot k\right) \right) \quad (11)$$

R ... *excentricita klikového mechanismu*

l ... *délka ojnice klikového mechanismu*

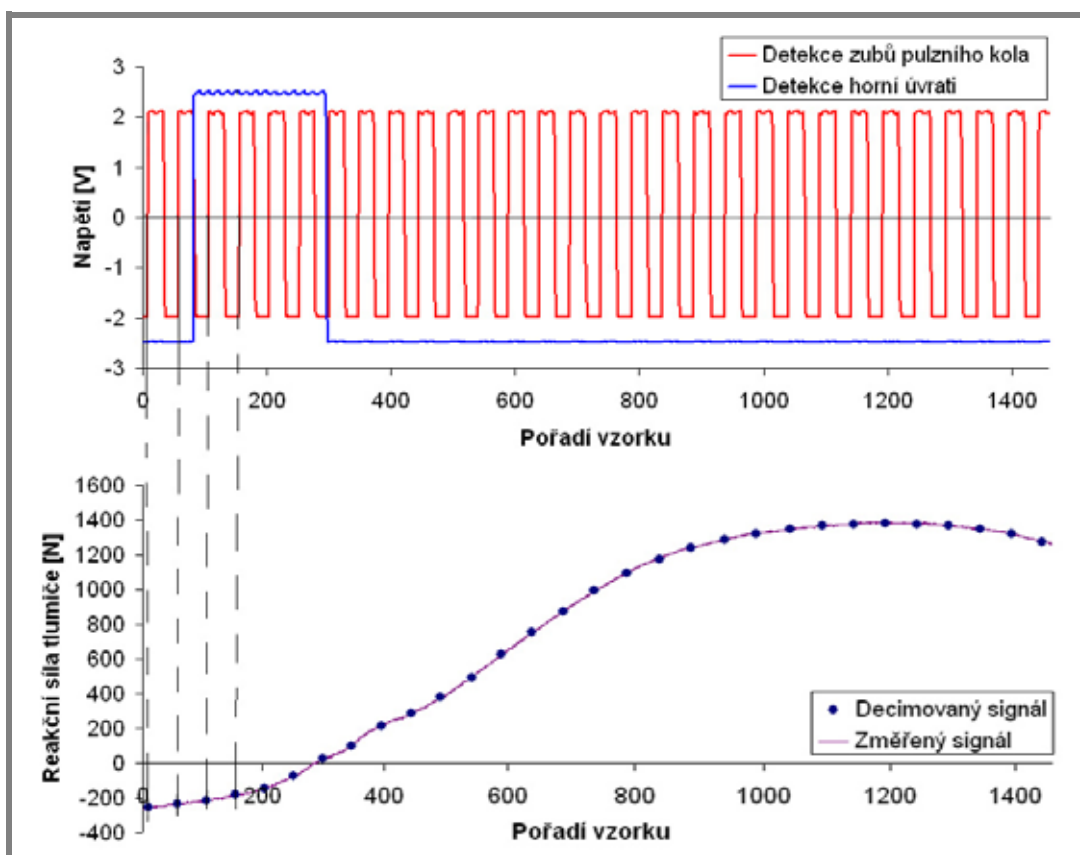
p ... *počet zubů pulzního kola*

ω ... *úhlová rychlost kliky*

i ... *pořadí detekovaného zubu pulzního kola*

k ... *fázová korekce časového zpoždění
hardwarových filtrů*

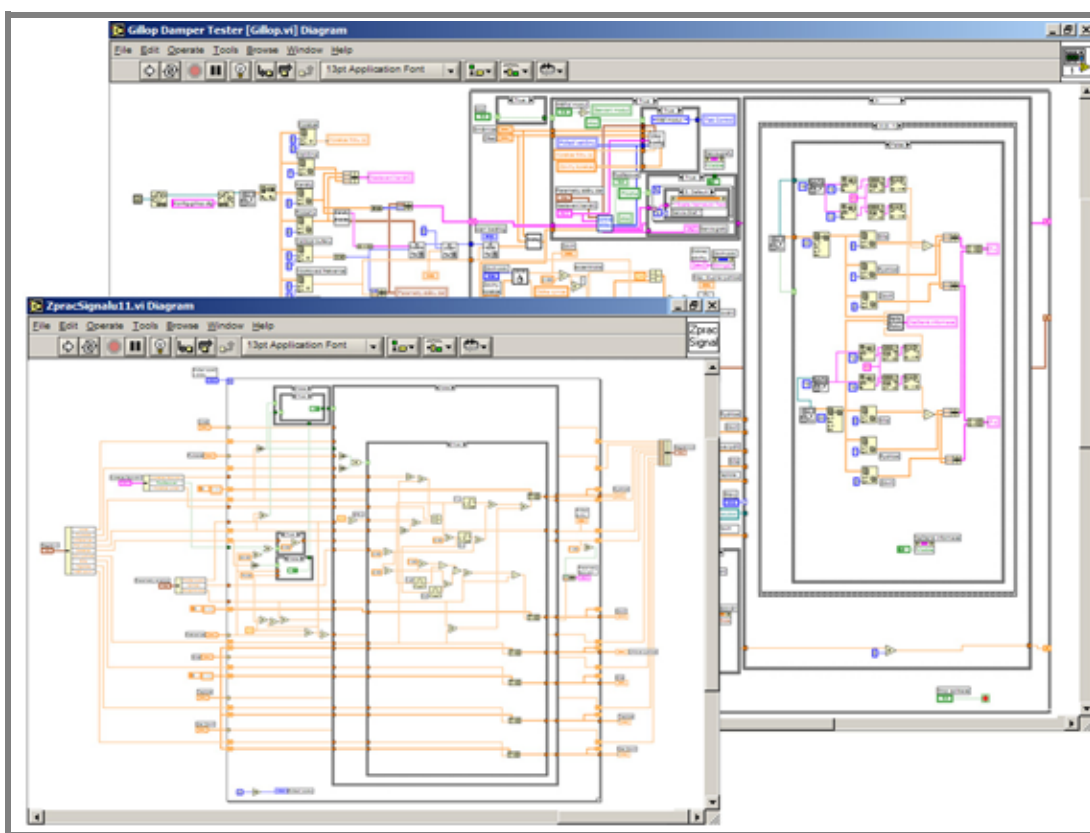
Z měřené frekvence (f) je počítána úhlová rychlost (ω) kliky pohonného mechanismu, tato informace je použita pro možnou efektivnější analýzu archivovaných dat. V bloku zpracování dat je také programově vyřešen problém s fázováním měřené síly s počítanou rychlostí (v) a zdvihem (z), k čemuž je využit signál detekující polohu horní úvrati. Četnost informace o rychlosti a zdvihu na jedno otočení kliky je závislá na počtu zubů pulzního kola (p), kdy pouze při detekci zubu máme k dispozici informaci o úhlovém pootočení kliky. Z těchto příčin je i u ostatních měřených signálů prováděna decimace, kdy je realizován výběr



Obr. 5.6 Demonstrace funkcionality decimace měřeného signálu

odpovídajících vzorků. Na **Obr. 5.6** je demonstrován algoritmus decimace měřeného signálu reakční síly. Tento přístup je opět velice výhodný pro on-line prezentaci charakteristik tlumiče. Program je samozřejmě schopen archivovat měřená data i v nedecimované podobě se vzorkovací frekvencí, která je zadána uživatelem.

Třetí funkční blok řeší prezentaci výstupních dat, v níž je umožněn on-line náhled zpracovaných dat na monitoru počítače nebo uložení těchto informací na pevný disk. Výsledná podoba grafického zápisu programu aplikace Gillop je demonstrována na **Obr. 5.7**. V horním okně je diagram hlavního programu, v dolním okně je příklad jednoho z podprogramů. Demonstrováný podprogram řeší právě výpočet rychlosti a zdvihu pohonu, provádí decimaci a fázování signálů. Podprogramy v hlavním programu tvoří uzlové body datových cest a jsou vázány do hierarchicky strukturovaných svazků.

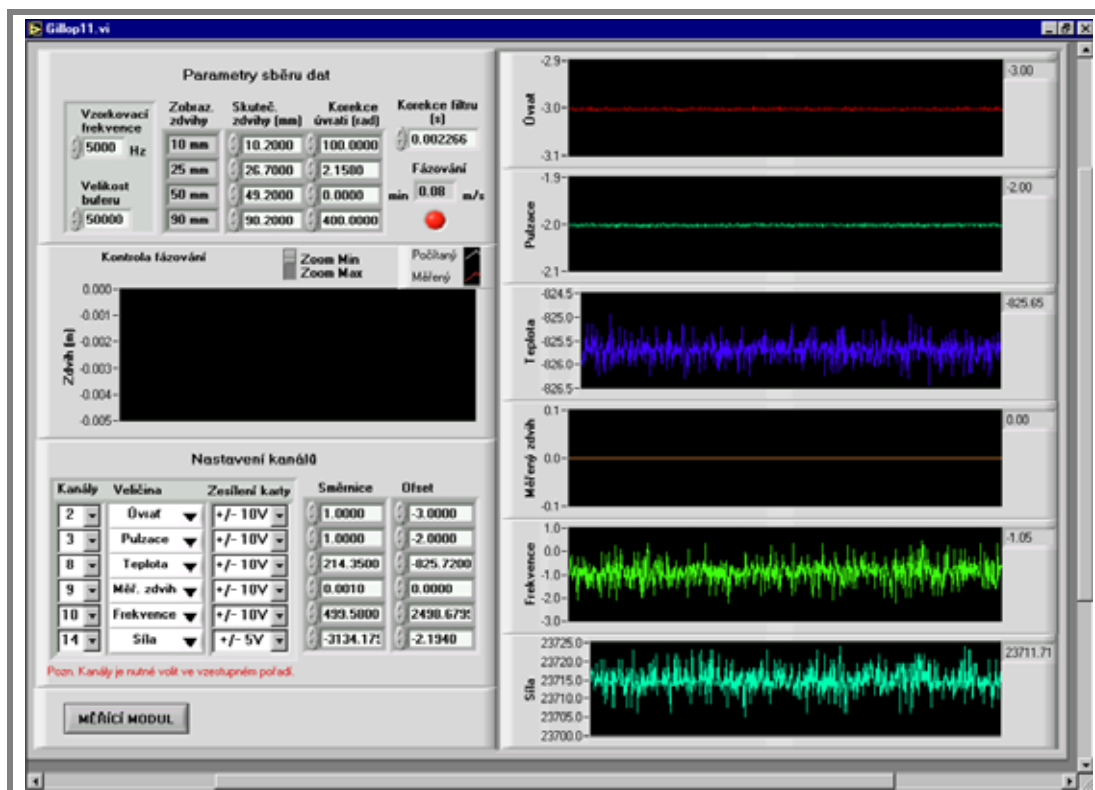


Obr. 5.7 Struktura grafického programového zápisu

Uživatelské módy řídicího programu

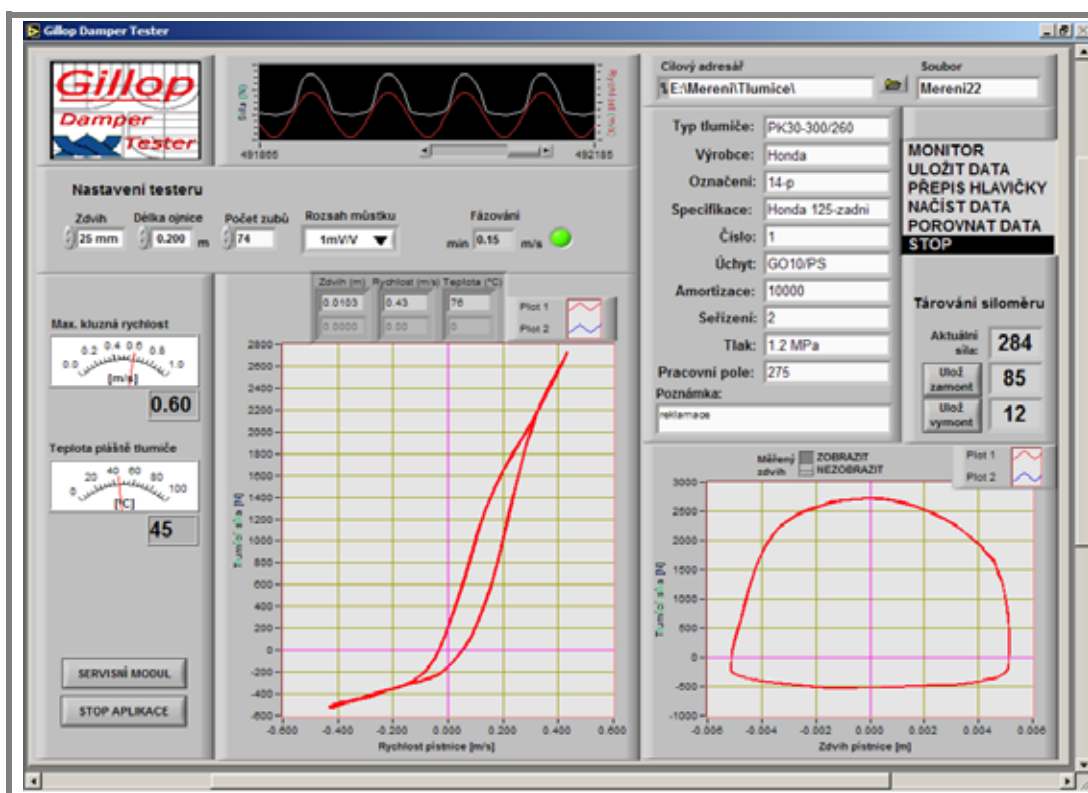
Program má dva uživatelské módy, a sice měřicí a servisní. Oba módy mají podobu dvou přepínatelných oken. Servisní modul (**Obr. 5.8**) slouží pro nastavení parametrů sběru dat, rozsahu a kalibrace měřicích kanálů, pro on-line náhled měřených signálů apod. V panelu sběru dat lze navolit velikost vzorkovací frekvence, která je standardně nastavena na 5000 Hz/kanál. Hodnota vzorkování byla odvozena především s požadavku na kvalitní tvar signálu pulzů z Hallova čidla při maximálních zkušebních rychlostech. Zkušební zařízení pracuje ve čtyřech zdvihových režimech 10, 25, 50 a 90mm a v této části programu je nutné těmto

zaokrouhleným hodnotám zdvihu přiřadit jejich skutečné odměřené hodnoty zdvihu klikového mechanismu, které mají vlivem výrobních nepřesností jistou odchylku. Zpřesněná hodnota je důležitá pro výpočet průběhu zdvihu a rychlosti. Příslušné hodnotě zdvihu odpovídá i úhlová korekce horní úvrati, jelikož při přestavení jednotlivých zdvihů dojde i k úhlovému pootočení kliky. V panelu kanálů je nutné nastavit jeho pořadové číslo, název snímané veličiny a zesílení měřicí karty. Kalibrace jednotlivých kanálů je řešena lineárním přepočtem, kdy je zadána směrnice a offset jednotlivých přepočtových přímek. V pravé části okna jsou náhledové grafy snímaných signálů.



Obr. 5.8 Okno servisního módu

Přepnutím do okna měřicího módu (**Obr. 5.9**) je možné provádět operace, které mají již přímou souvislost s testováním příslušného vzorku. Je umožněno např. on-line monitorování výsledných závislostí tlumiče F-v a F-z, teploty pláště tlumiče a maximální kluzné rychlosti. Zeleně svítící kontrolka informuje o stavu sfázování průběhů rychlosti a zdvihu vzhledem k indikované horní úvrati klikového mechanismu, přičemž operace fázování je prováděna programem automaticky vždy při rozjezdu zkušebního zařízení při tzv. fázovací rychlosti. Hodnota fázovací rychlosti je indikována v číselném poli vedle kontrolky. Velikost fázovací rychlosti odpovídá otáčkové frekvenci kliky cca 1 Hz. Systém je sfázován až do doby úplného zastavení kliky zkušebního zařízení a rozfázování je indikováno červeně svítící kontrolkou.



Obr. 5.9 Okno měřicího módu

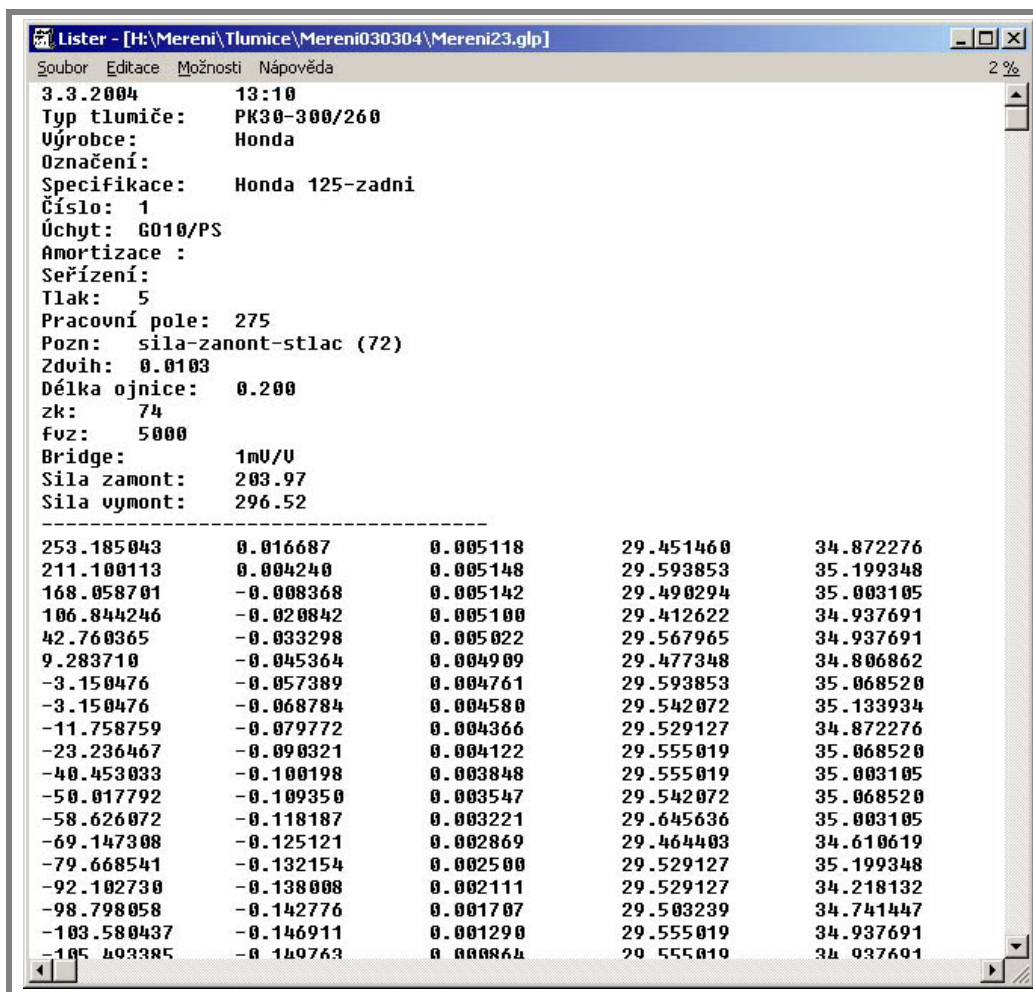
Výstupní data je možno ukládat na disk ve formě textového souboru (**Obr. 5.10**), jehož hlavička obsahuje informace o měřeném vzorku a nastavených parametrech měření (typ tlumiče, výrobce, označení, specifikace, vzorkovací frekvence, zdvih atd.). Soubor je uložen pod zadaným názvem, pokud se název ponechá shodný s předešlým měřením k souboru se automaticky generuje číselný doplněk jeho názvu, což podstatně zrychluje jednotlivá měření.

Výstupní data jsou v textovém souboru strukturována do sloupců s následným významem: reakční síla tlumiče, průběh zkušební rychlosti, průběh zkušebního zdvihu, úhlová rychlost kliky, teplota pláště tlumiče. Pro náhled starších měření lze tyto soubory načíst včetně příslušných závislostí a informací o tlumiči, do okna měřicího módu, nebo porovnat více měření.

Úspěšná realizace experimentálního pracoviště v podobě, která je popsána v **kap.5** má význam zejména v následujících rovinách:

- realizace byla nezbytnou podmínkou pro následná výzkumná měření, kde byly sledovány především parametry ovlivňující projevy reálného tlumiče odpružení, které byly popsány v **kap.4.2.3**.
- na základě výzkumných měření bylo možno následně navrhnout obecnou metodiku pro testování tlumičů, která je předmětem následné kapitoly a je jedním z cílů této práce
- nezanedbatelný význam experimentálního pracoviště je v pedagogické rovině, jelikož využití tohoto zařízení kontinuálně zapadá do výukových programů

Ústavu automobilního a dopravního inženýrství a Ústavu konstruování VUT v Brně.

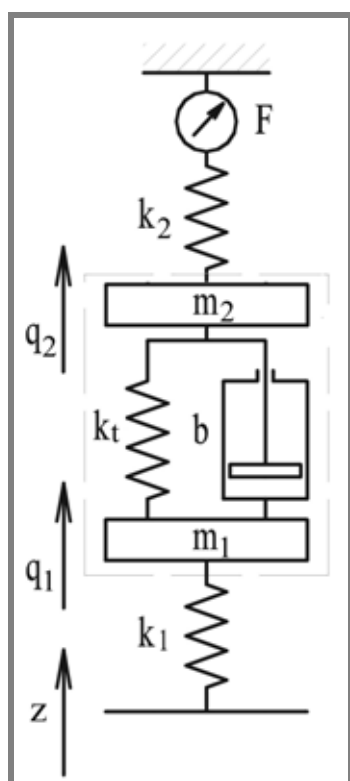


Obr. 5.10 Struktura souboru s výstupními daty

6 NÁVRH METODIKY TESTOVÁNÍ DEMONTOVANÝCH TLUMIČŮ

Problematika metodiky testování demontovaných tlumičů je v této kapitole zaměřena nejen na samotný způsob měření na navržené zkušební stanici, jejíž popis je uveden v **kap.5.**, ale především na metody, které budou obecně použitelné pro diagnostiku jednotlivých elementů tlumiče odpružení. Základní motivací návrhu nového přístupu v analýze získaných hodnot z měření je především fakt, že změřená reakční síla je součtem několika charakteristických silových složek. Poznatky o této problematice byly shrnuty v závěru **kap.4.2.3**, kde byla uvedena obecná závislost reakční síly tlumiče – **rov.(8)**, která definuje reakční sílu tlumiče jako funkci posuvu (zdvihu), rychlosti a zrychlení pístnice tlumiče.

Pro podrobné vyšetření tohoto tvrzení si nahradíme soustavu tlumič – zkušební zařízení, mechanickým modelem dle **Obr. 6.1**. Tento mechanický model představuje obecný případ možného testování reálného tlumiče odpružení.



- $m_1...$ hmota kinematicky spojená s buzením (posuvná hmota tlumiče)
- $m_2...$ hmota spojená s měřícím zařízením síly
- $b...$ konstanta tlumení
- $k_T...$ tuhost plynové náplně tlumiče
- $k_1...$ tuhost pružného úchytu 1
- $k_2...$ tuhost pružného členu 2
- $q_1...$ posunutí hmoty 1
- $q_2...$ posunutí hmoty 2
- $z...$ kinematické buzení
- $F...$ měřená reakční síla tlumiče

Obr. 6.1 Mechanický model soustavy tlumič - zkušební zařízení

Cílem tohoto rozboru je identifikovat jednotlivé silové složky měřené reakční síly (F) do co možná nejnižší úrovně modelu, protože jedině tak se dají diagnostikovat jednotlivé elementy tlumiče spojené z daným silovým projevem. Jednotlivé silové složky můžeme definovat uvolněním vazeb daných hmot modelu.

Silové reakce ve vazbách hmot m_1 a m_2 :

$$F_{K1} = k_1 \cdot (z - q_1) \quad (12)$$

$$F_{kT} = k_T \cdot (q_1 - q_2) \quad (13)$$

$$F_b = b \cdot (\dot{q}_1 - \dot{q}_2) \quad (14)$$

$$F_{k2} = k_2 \cdot q_2 \quad (15)$$

Měřená silová reakce:

$$F = k_2 \cdot q_2 \quad (16)$$

Pokud by se tedy podařilo určit parametry k_1 , k_3 , k_T , a b , resp. nalézt dané závislosti na posuvu a rychlosti na základě odměřené reakční síly, bylo by možné určit závislosti jednotlivé silové složek.

Matematicko-fyzikální analýzou modelu (**Obr. 6.1**) dospějeme k následným diferenciálním rovnicím:

$$k_1 \cdot (z - q_1) - k_T \cdot (q_1 - q_2) - b(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) = m_1 \cdot \ddot{q}_1 \quad (17)$$

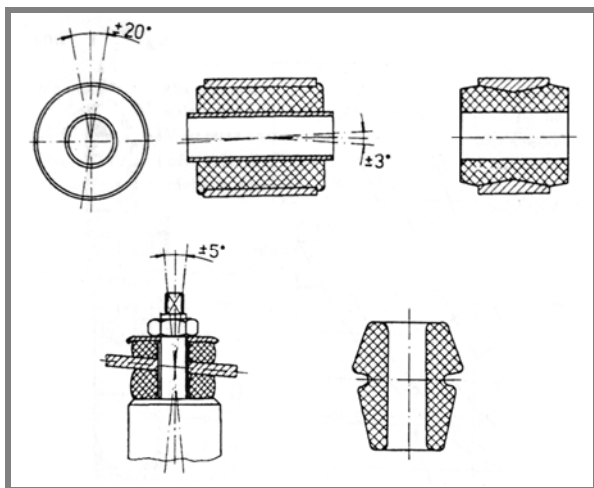
$$k_T \cdot (q_1 - q_2) + b \cdot (\dot{q}_1 - \dot{q}_2) - k_2 \cdot q_2 = m_2 \cdot \ddot{q}_2 \quad (18)$$

V rovnicích (17) a (18) nejsou zahrnuty síly od tíhového zrychlení, pro samotný model tento fakt nemá vliv, pokud si definujeme počátky jednotlivých souřadných systémů do ustálených stavů, kdy hodnota posunutí kinematického buzení bude rovna nula, v tomto okamžiku i měřená síla bude rovna nule. Následné kapitoly budou vycházet z definovaných rovnic a budou se zabývat zmíněnou identifikací jednotlivých složek reakční síly tlumiče.

6.1 Identifikace a eliminace projevu pružných úchytů tlumiče

Důvod užití pružných vazeb mezi tlumiče a vozidlovou zástavbou je zejména umožnění jistých omezených pohybů tlumiče tzn. natočení kolem osy oka, či výkyvu v rovině této osy. Příklady konstrukčního řešení tlumičových závěsných ok a čepů je na **Obr. 6.2**. Nutnost identifikace projevu pružných úchytů tlumiče vyvstává v případě, kdy např. není umožněno vyřadit vliv těchto elementů během diagnostických či výzkumných měření pomocí fixního uchycení. Dalším podstatným důvodem může být případ, kdy je vliv těchto prvků předmětem výzkumu, nebo ověřování vhodnosti použití daného pružného členu, jelikož použití nevhodných pružných členů může zcela degradovat vlastnosti tlumiče. Uchycení tlumičů na zkušebním zařízení lze realizovat buď pevnými např. svěrnými úchyty, které eliminují relativní pohyb mezi pohonnou částí zkušebního zařízení a pístitnicí tlumiče

nebo pomocí originálních tlumičových závěsných čepů a ok s pryžovými pouzdry. Na **Obr. 6.3** je zobrazena možnost uchycení plynokapalinového motocyklového tlumiče, kde je použita kombinace obou způsobů. Horní oko je uchyceno standardně s použitím čepu a pryžového pouzdra, spodní oko je uchyceno za vnější plochu oka úchyty ve svěrném adaptéru. Uchycení ve střední části imituje boční namáhání tlumiče.

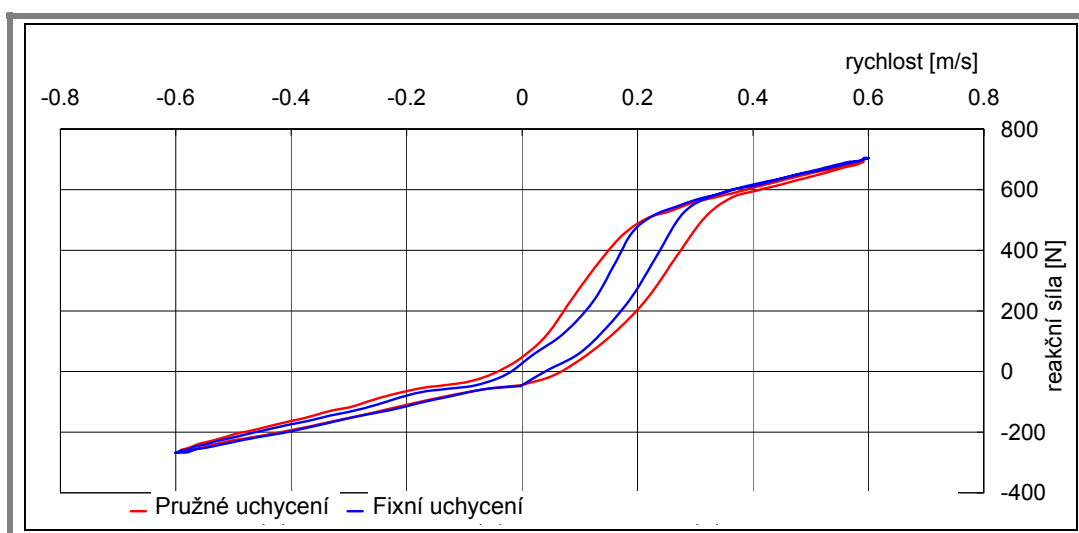


Obr. 6.2 Tlumičová závěsná oka a čepy s pryžovými členy [2]



Obr. 6.3 Uchycení tlumiče

Typické hysteresezní průběhy rychlostních charakteristik tlumiče jsou částečně způsobeny právě elastickým uchycením. Projev elastických deformací je nejlépe identifikovatelný na F-v diagramech, samozřejmě jen v případě, kdy jsou do závislosti zanášeny okamžité hodnoty síly a rychlosti během jednoho dvojzdvihu (viz. **kap.4.2.3**). Takto naměřenou charakteristiku dvouplášťového tlumiče Ateso zachycuje **Obr. 6.4**. Tlumič byl upnut v úchytech s originálními pryžovými podložkami a měření bylo provedeno na mechanickém měřícím stavu Gillop 1.4, přičemž amplituda zkušební zdvihu byla 25 mm a maximální zkušební rychlost 0.6 m/s.



Obr. 6.4 Projev pružných úchyťů tlumiče

6.1.1 Popis metody identifikace a eliminace pružných úchytlů

Pro popis a možnou eliminaci tohoto projevu použijeme rovnice (17) a (18), jejich porovnáním získáme vztah:

$$k_1 \cdot (z - q_1) - k_2 \cdot q_2 = m_2 \cdot q_2'' + m_1 \cdot q_1'' \quad (19)$$

Projev pružného uložení má obecně za následek skutečnost, že přírůstek budící síly systému, který představuje rovnice (19), není roven přírůstku měřené silové reakce. Levá strana rovnice představuje tento rozdíl a pravá strana představuje velikost tohoto rozdílu. Tento rozdíl je dán také skutečností, že v měřených charakteristikách je reakční síla vztažena k posunutí zkušebního zařízení (z) a nikoliv k relativnímu posuvu mezi válcem tlumiče a jeho pístnicí, tedy $q_1 - q_2$.

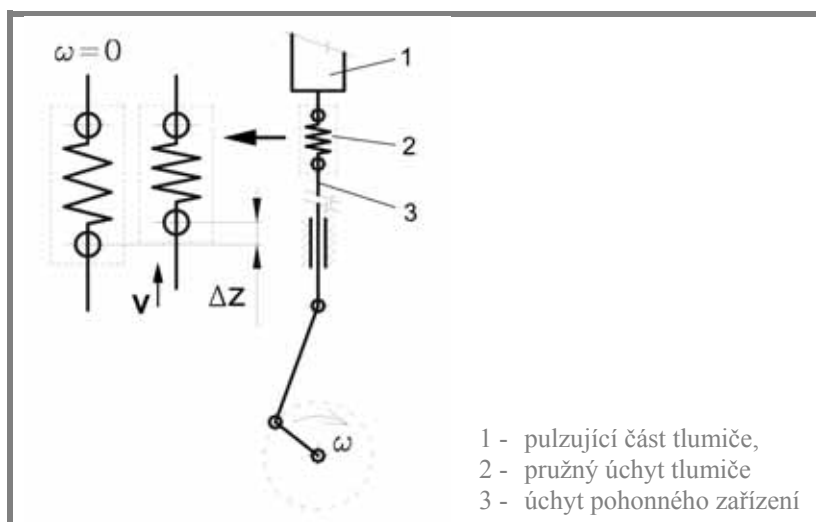
Pro účely praktické eliminace zmíněného jevu v naměřených charakteristikách lze využít postup, který hledá fázový posun zkušebního zařízení, který by eliminoval tento projev. Metoda eliminace tohoto projevu vychází z rovnice (19), kdy simulujeme nulový rozdíl mezi měřenou a budící silou:

$$k_1 \cdot (z - q_1) - k_2 \cdot q_2 = 0 \quad (20)$$

Pokud použijeme zjednodušení, kdy tuhosti obou úchytlů jsou stejné $k_1 = k_2 = k$, tak můžeme po úpravě uvést:

$$k \cdot \Delta z - F = 0 \quad (21)$$

Přístup k eliminaci účinku pružného uložení tedy vychází z předpokladu, že tento projev je především důsledkem relativního pohybu mezi pulzující částí testovaného tlumiče a úchytem pohonného zařízení, přičemž hodnota stlačení pružného úchytlů Δz je závislá na jeho tuhosti a působící reakční síle tlumiče **Obr. 6.5**.



Obr. 6.5 Schéma deformace pružného úchytlů tlumiče

Korekce změřených F-z charakteristik bude tedy uskutečněna v ose zdvihu, který bude korigován o příslušné stlačení pružného úchytu, které lze vyjádřit pomocí rovnice:

$$\Delta z = \frac{\Delta F}{k} \quad (22)$$

ΔF ... silová diference mezi po sobě sebranými vzorky

k ... tuhost úchytu tlumiče

Obdobným způsobem bude korigována i charakteristika F-v, kdy je z daného stlačení úchytu odvozena změna zkušební rychlosti. Korekci rychlosti lze vyjádřit vztahem:

$$\Delta v = \frac{\omega \cdot \Delta z}{\Delta \varphi} \quad (23)$$

ω ... úhlová rychlost pohonu

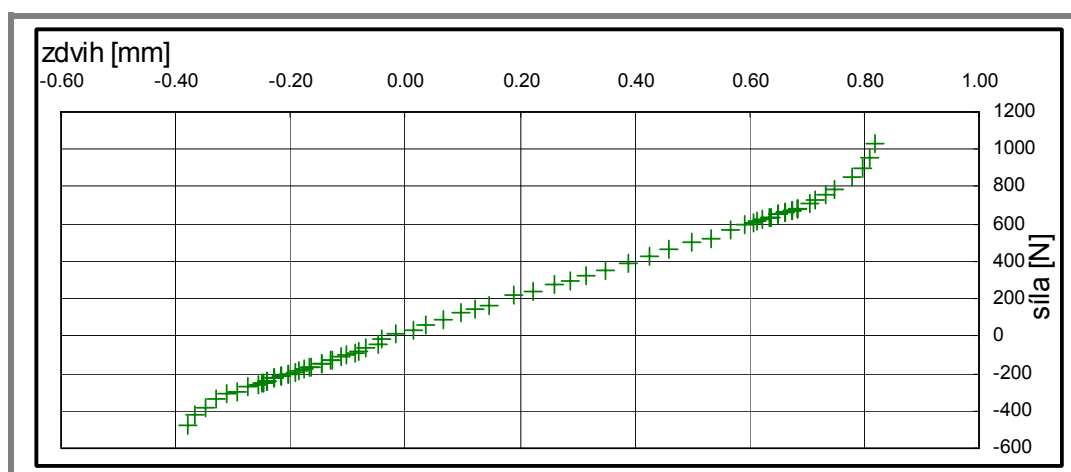
Δz .. stlačení pružného úchytu

$\Delta \varphi$.. úhlové natočení kliky

6.1.2 Experimentální ověření metodiky

Experimentální ověření navržené metodiky identifikace a eliminace pružného uložení tlumiče je provedeno na tlumiči Ateso a kriteriem bude porovnání charakteristik naměřených s fixním uložením (**Obr. 6.4**) a charakteristiky korigované postupem popsaným v **kap. 6.1.1**. Vstupním parametrem je tuhost úchytu. Charakteristika úchytu je odměřena třmenovým siloměrem a číselníkovým úchylkoměrem (**Obr. 6.6**). Tuhost úchytu v lineární oblasti byla stanovena na 953 N.mm^{-1} . Silový rozsah tlumiče Ateso pro rychlost do rychlosti $0,6 \text{ m.s}^{-2}$ je maximálně 700 N , tedy uvažování pouze lineární oblasti charakteristiky úchytu bude dostačující.

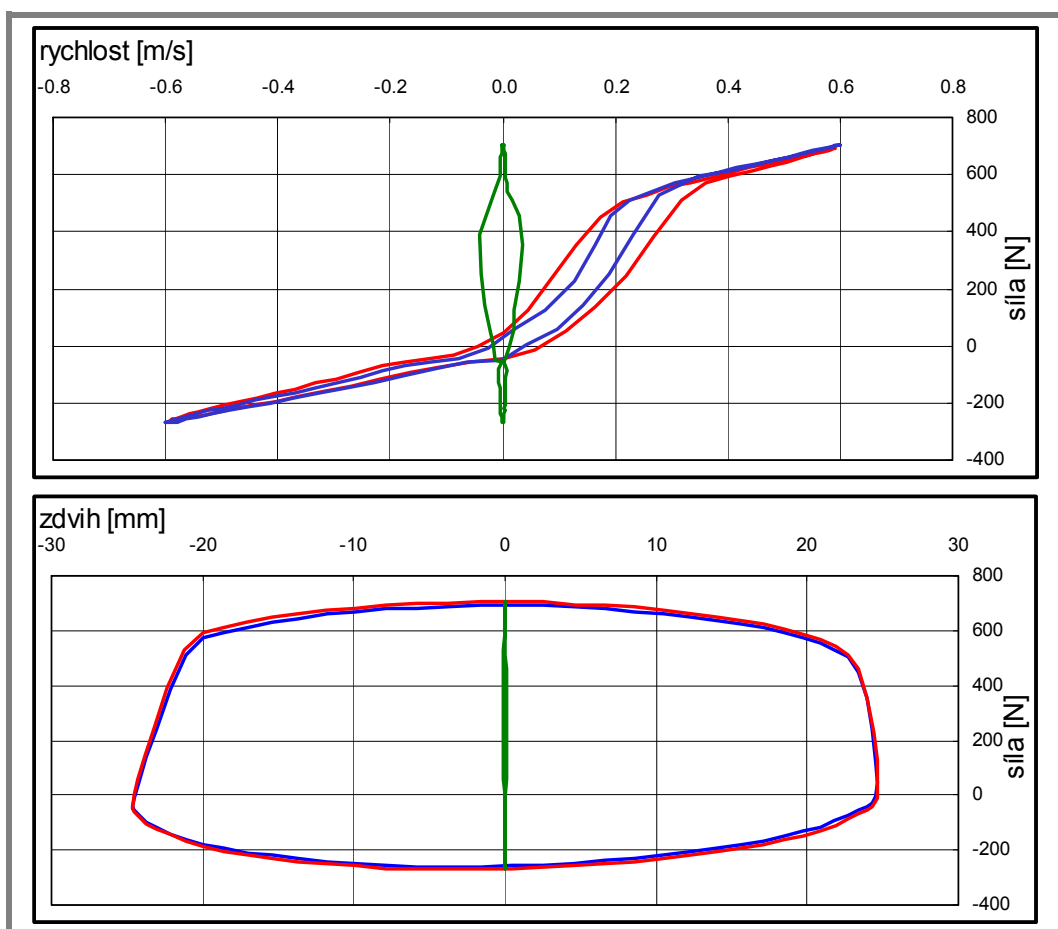
6.1.2



Obr. 6.6 Charakteristika úchytu tlumiče

Na **Obr. 6.7** jsou zobrazeny spolu s charakteristikami, které byly měřeny s fixním a pružným uchycením i spočítané korekce pružného uložení pro oblast zdvihu a rychlosti (zelené křivky). Z charakteristik je patrné, že k významnému ovlivnění

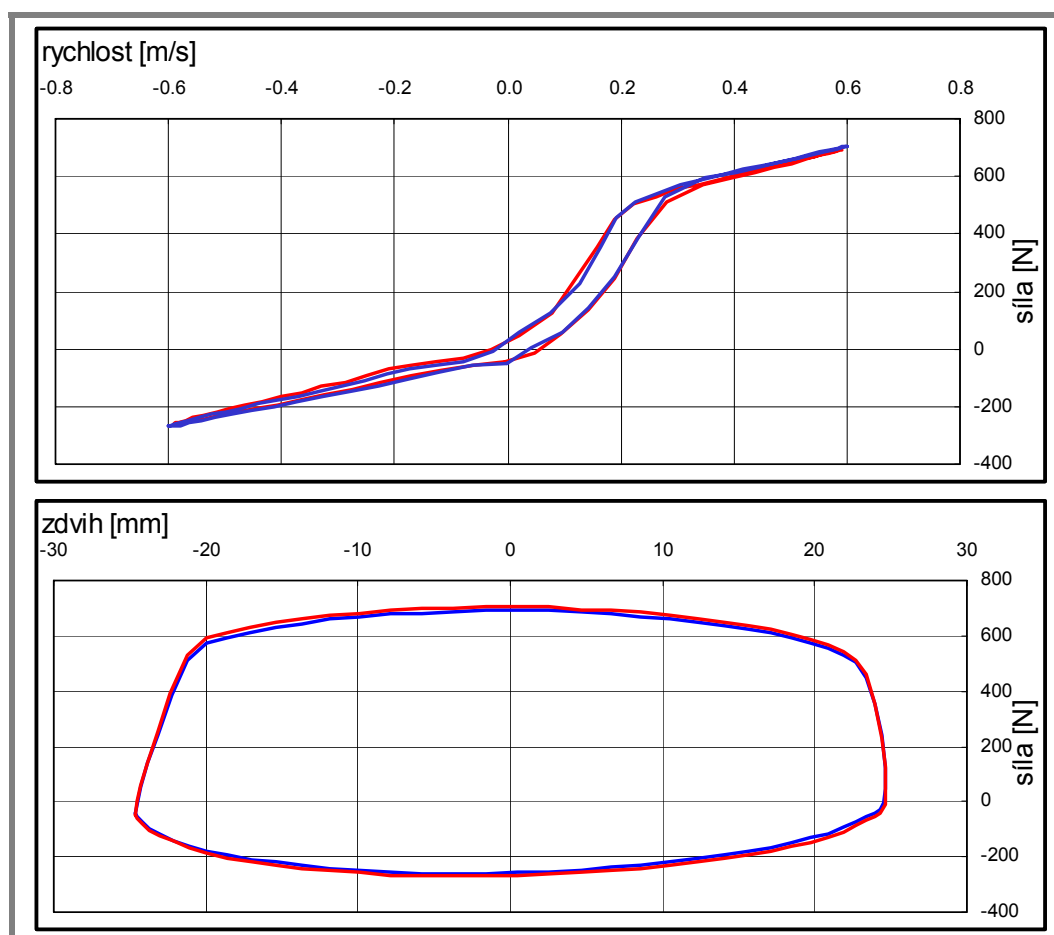
dochází především v rychlostní oblasti, naproti tomu v rovině zdvihu je ovlivnění prakticky nevýznamné.



Obr. 6.7 Korekce výkonových charakteristik v oblasti rychlosti a zdvihu

Výsledky tohoto postupu eliminace jsou zobrazeny na **Obr. 6.8**. Modře jsou zobrazeny průběhy, které byly naměřeny s fixním uložením, červeně jsou pak znázorněny závislosti měřené s pružným uchycením, od kterých jsou odečteny průběhy korekcí presentované výše. Jak je patrné zejména z rychlostní charakteristiky, korigovaný průběh poměrně věrně kopíruje křivku měřenou s fixním uložením. Dále je patrné, že přesnost metody není příliš ovlivněna faktem, že tuhost pružného uložení byla měřena staticky, tedy do silové charakteristiky úchyty nebyl uvažován jeho možný hysterezní projev při dynamické zátěži, z čehož vyplývá, že větší význam projevu úchyty tlumiče je právě v rovině posuvu a rychlosti, než v jeho silovém hysterezním projevu.

Uvedená metoda identifikace a eliminace pružného uložení je určena především pro servisní a diagnostickou praxi. Ve výzkumných měřeních, které budou např. předmětem následných kapitol, je lépe odstranit vliv pružných prvků fixním upnutím ve zkušebním zařízení.



Obr. 6.8 Charakteristiky tlumiče po eliminaci projevu pružných úchytů

6.2 Identifikace silových složek reakční síly tlumiče odpružení

6.2

Při respektování rozboru provedeného v úvodu **kap.6** bude nyní úkolem identifikovat na základě naměřených charakteristik tlumiče jednotlivé složky reakční síly. Motivací je fakt, že oddělené posuzování charakteristik jednotlivých složek, je často jediná korektní možnost, jak posoudit vlivy jednotlivých elementů tlumiče odpružení. Jak již bylo uvedeno v závěru **kap. 6.1** přesná diagnostická a výzkumná měření je lépe provádět s fixním uchycením tlumiče ve zkušebním zařízení, což lze ve většině případů jednoduše zabezpečit speciálními fixními čepy, při jejichž použití dokonce není nutná demontáž pružného pouzdra tlumiče. Následný popis bude vycházet opět z modelu, který je uveden na **Obr. 6.1**, pouze budeme respektovat předpoklad fixního uchycení. Model bude tedy bez projevu pružných sil závislých na tuhostech pružných členů (k_1) a (k_2). Posuv zkušebního zařízení (z) je tedy roven posuvu (q_1) pulsující hmoty a posuv (q_2) hmoty (m_2) spojené se siloměrem je nulový. Vstupní podmínky lze tedy popsat následovně:

$$\begin{aligned} q_1 &= z \\ q_2 &= 0 \end{aligned} \quad (24)$$

Pro tento model bude mít pohybová rovnice následující tvar:

$$F_Z - k_T \cdot z - b \cdot \dot{q}_1 = m_1 \cdot \ddot{q}_1 \quad (25)$$

F_Z ... budící síla zkušebního zařízení

Z rovnováhy sil mezi měřicím zařízením síly a vzorkem tedy vyplývá:

$$F = k_T \cdot z + b \cdot \dot{q}_1 \quad (26)$$

F ... měřená reakční síla tlumiče

Reakční síla tlumiče má tedy, dle popsaného modelu, dvě silové složky, a sice složku závislou na poloze a složku závislou na rychlosti pulsující části tlumiče.

Pokud se zaměříme na konfrontaci tohoto modelu s reálným tlumičem odpružení, která bude vycházet ze závěrů **kap.4.2.3**, potom na základě uvedených skutečností zjistíme, že reálný tlumič není závislý pouze na poloze a rychlosti činné části, nýbrž také na jejím zrychlení (důvody pro tento projev reálného tlumiče odpružení jsou taktéž uvedeny v **kap.4.2.3**). Z důvodu co možná nejvěrnějšího diagnostického popisu tlumiče odpružení použijeme tento přístup taktéž pro navrženou metodiku hodnocení jeho stavu. V tomto případě tedy nahradíme rovnicí (26) reakční silou reálného tlumiče odpružení, která bude obecně závislá na poloze, rychlosti a zrychlení. Z důvodu odlišení modelového přístupu od pohledu na ideální tlumič a jeho projev, označíme nyní rychlost činné části tlumiče a tedy i rychlost zkušebního zařízení symbolem (v) a jeho zrychlení symbolem (a), rovnice pro reakční sílu reálného tlumiče odpružení bude mít tedy následující tvar:

$$F_R = f_R(z, v, a) = f_P(z) + f_G(v, a) = F_P + F_G \quad (27)$$

F_R ... měřená reakční síla reálného tlumiče

F_P ... polohově závislá síla

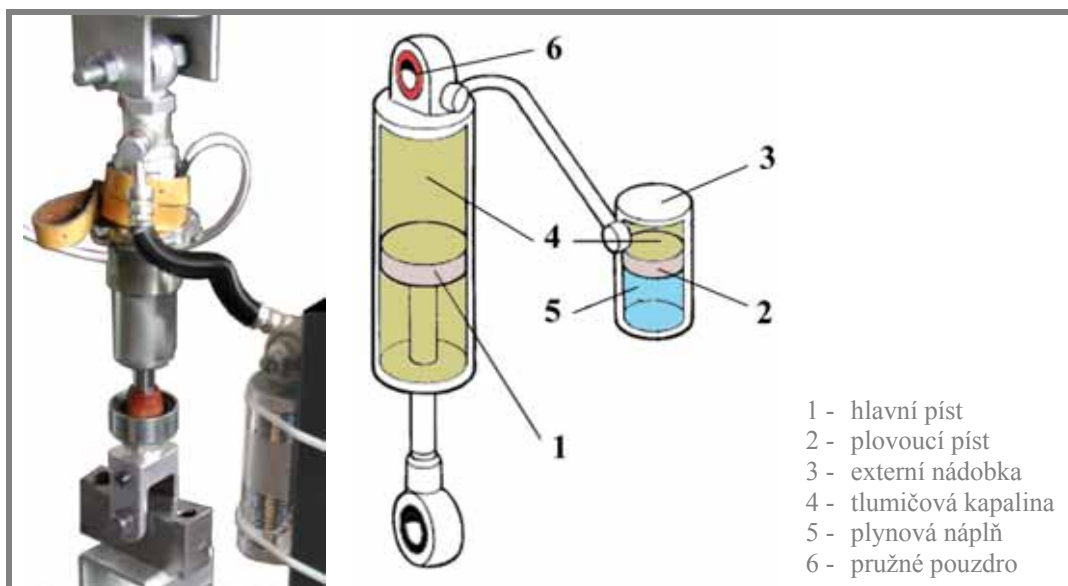
F_G ... tlumící síla reálného tlumiče

Následné kapitoly budou se zaměřeny na identifikaci obou složek dané rovnice.

6.2.1 Identifikace polohově závislé složky

Polohově závislá složka reakční síly tlumiče je způsobena zejména použitím stlačitelného plynného média. Důvody použití koncepce se stlačitelnými médii byly podrobně popsány v **kap.4.1**. Typickým představitelem této konstrukce jsou

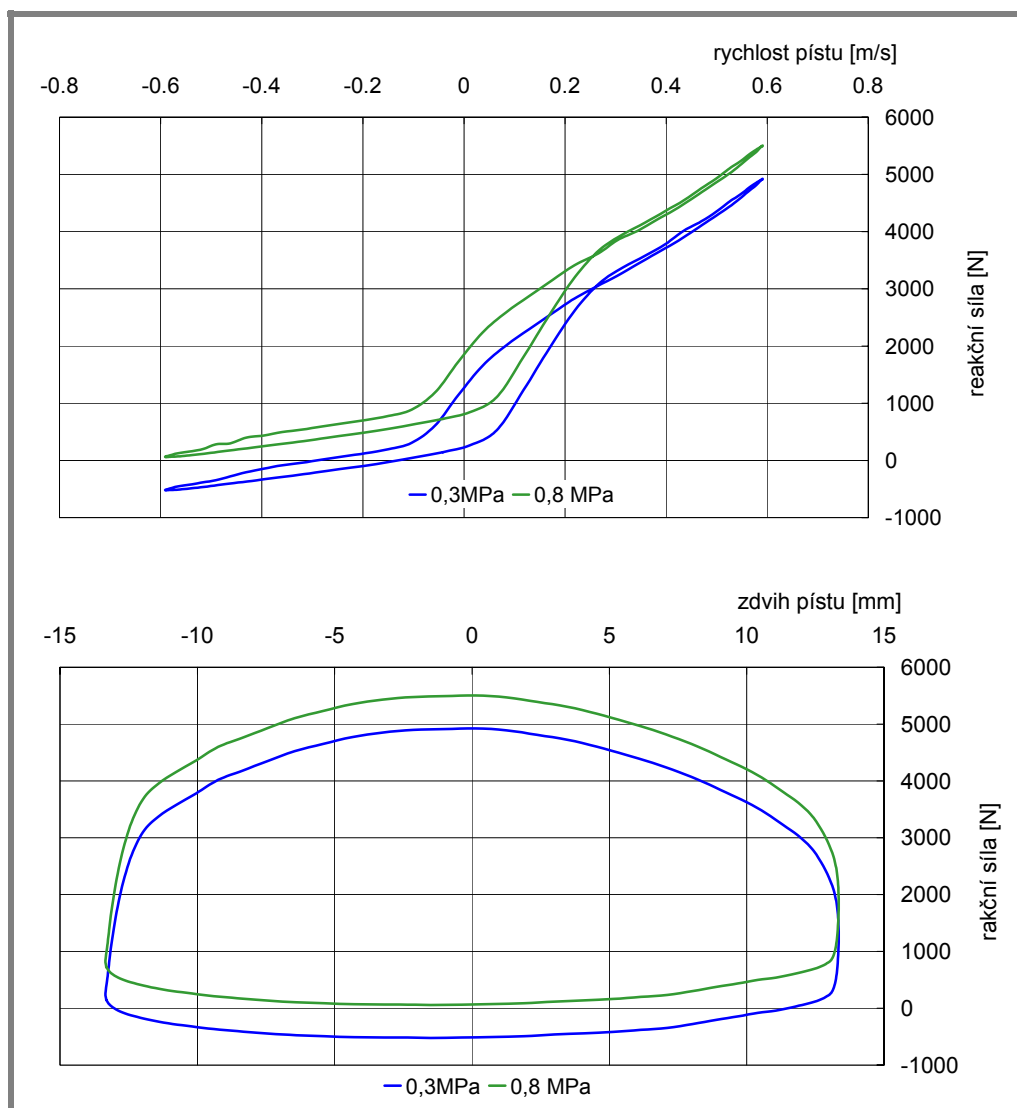
motocyklové tlumiče s externí nádobkou (**Obr. 6.9**). Tento tlumič Honda má možnost přizpůsobovat tlak v externí nádobce dle požadavků a tedy měnit velikost celkové reakční síly při zachování stejné síly tlumící, nicméně tlumící sílu lze nastavit taktéž. Změřený projev odlišných tlaků v externí nádobce je zobrazen na **Obr. 6.10**.



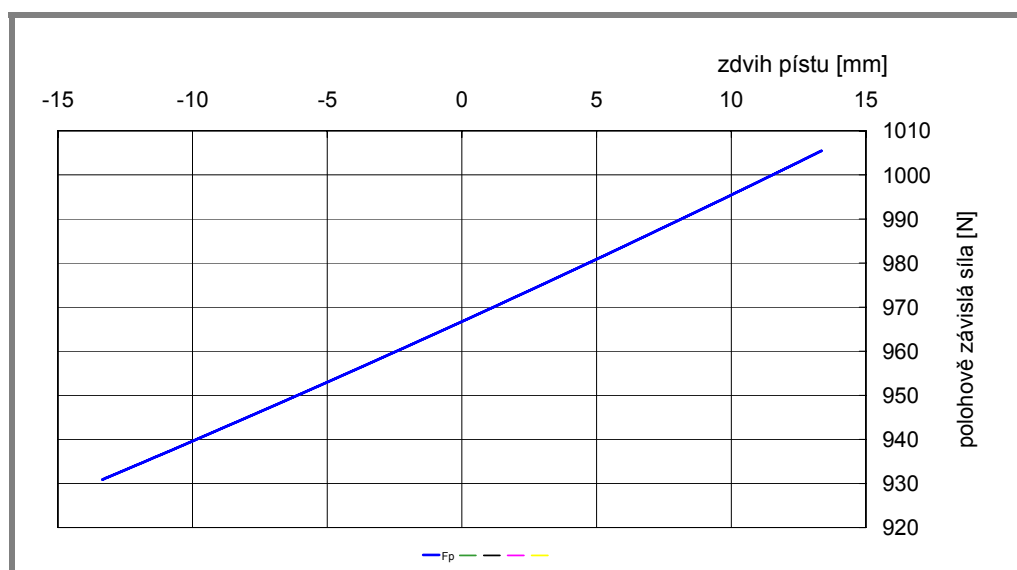
Obr. 6.9 Jednoplášťový seřizovatelný tlumič s externí nádobkou

V tomto případě není zcela snadné posoudit vliv polohově závislé síly a složky závislé na rychlosti a zrychlení. Identifikace silové složky závislé na poloze bude provedena na základě předpokladu, že síla tlumící je nulová při rychlosti a zrychlení, které se blíží nule, a že při malých rychlostech a zrychleních je síla tlumící v porovnání se silou závislou na poloze zanedbatelná. Identifikace polohově závislé složky je provedeno měřením na testovací stanici Gillop 1.4. v režimu kdy rychlost nepřekročí $0,05\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Identifikovaná charakteristika polohově závislé síly F_p je zobrazena na **Obr. 6.11**, identifikace byla provedena pro relativní hodnotu tlaku 0,6 MPa.

Změřená charakteristika síly F_p má téměř lineární průběh, což je zřejmé kvůli geometrickým rozměrům externí nádobky a poměrně malým objemovým změnám, které jsou dány zasouvající se pístnicí, nicméně i tak je silové ovlivnění podstatné. Identifikovaná polohově závislá složka reakční síly tlumiče bude využita pro další zpracování i v následných kapitolách.



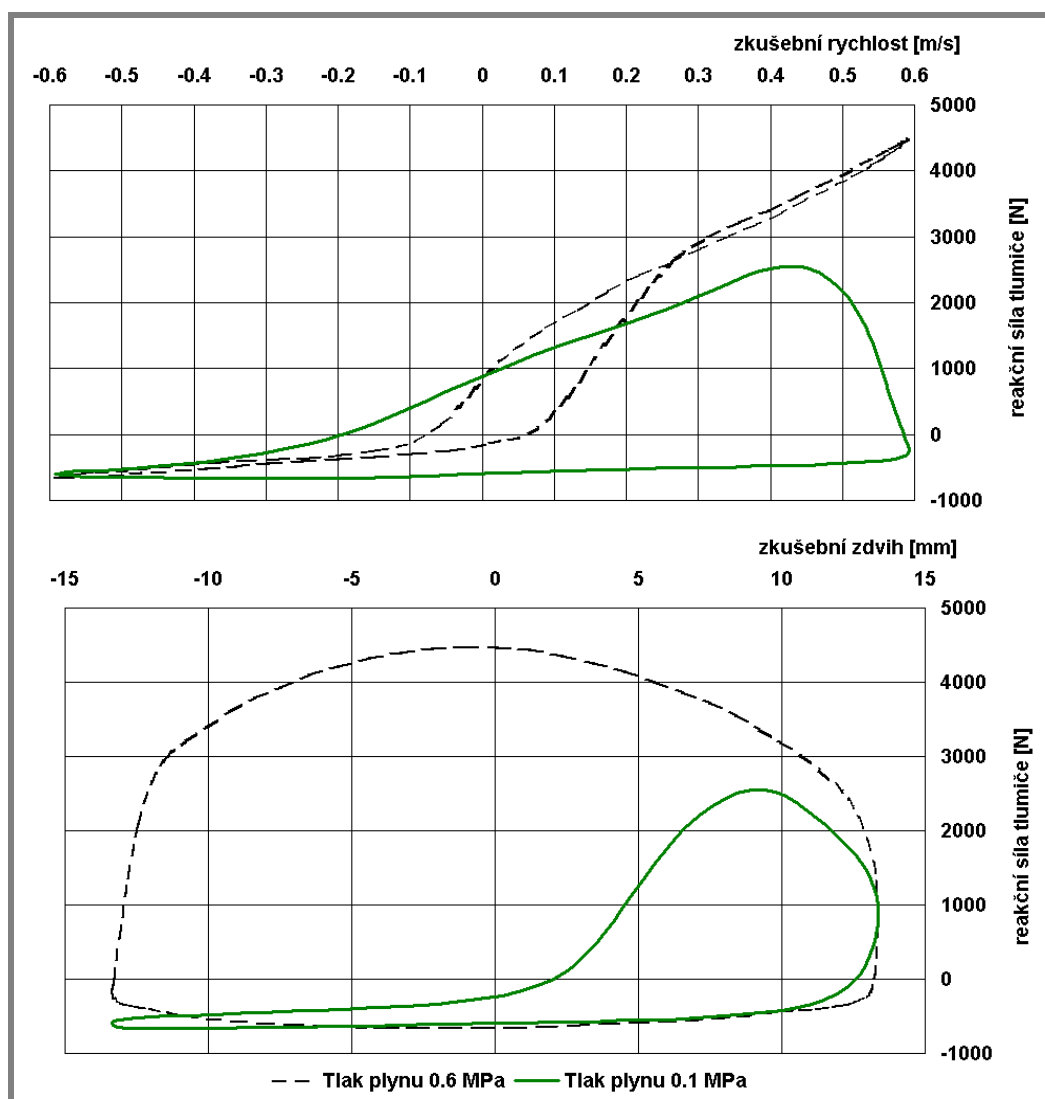
Obr. 6.10 Charakteristiky tlumiče ovlivněné rozdílným tlakem v externí nádobce



Obr. 6.11 Charakteristika polohově závislé síly F_p

6.2.2 Identifikace tlumící síly

Identifikace síly závislé na rychlosti a zrychlení nelze provést odměřením tlumiče ve stavu, kdy je funkce pružení fyzicky odstraněna, jelikož tlumící funkce je často podmíněna velikostí reakční síly, tedy tlumič je silově naladěna na určitý silový rozsah, který již zohledňuje i složku od polohově závislé síly. Projev nedostatečného tlaku v externí nádobě tlumiče Honda je demonstrován na **Obr. 6.12**. Pracovní oblast tlaku v externí nádobce podmiňující korektní vlastnosti tlumiče je dána výrobcem v rozmezí 0,2 – 0,8 MPa. Pracovní rozsah tlumiče byl experimentálně ověřen a v tlakovém režimu 0,1MPa je patrná markantní ztráta tlumícího účinku na začátku tažného zdvihu tlumiče.



Obr. 6.12 Projev nedostatečného tlaku plynu na tlumící vlastnosti tlumiče

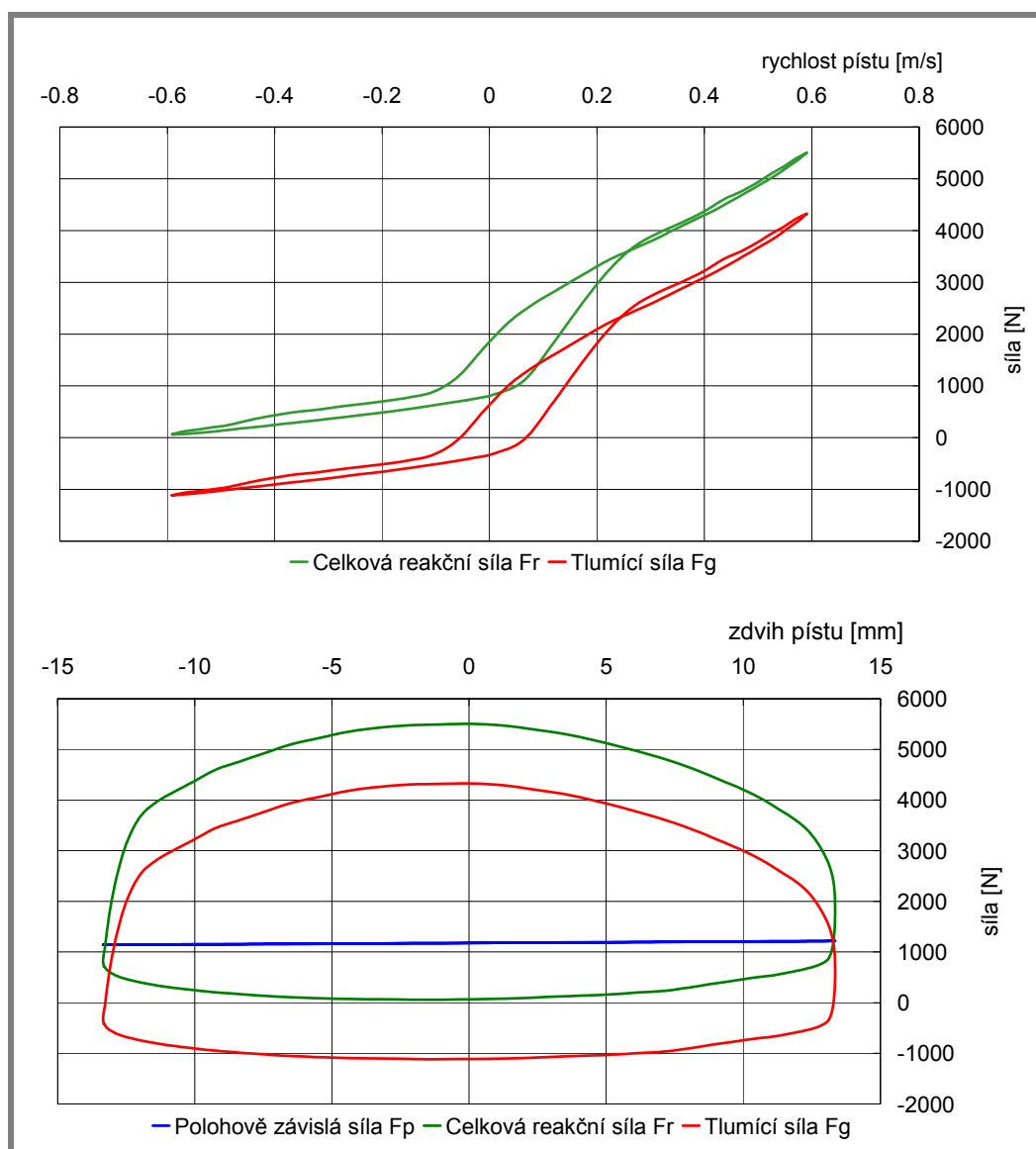
Identifikace tlumící silové složky (F_G) závislé na rychlosti a zrychlení bude tedy provedeno odečtením polohově závislé složky od celkové naměřené reakční síly tlumiče (F_R).

Sílu F_G lze tedy popsat následující rovnicí:

$$F_G = f_R(z, v, a) - f_P(z) = f_G(v, a) \quad (28)$$

F_G ... *Tlumící síla reálného tlumiče*

Výsledná charakteristika tlumící síly (F_G) je zobrazena na **Obr. 6.13**. Z průběhu identifikované tlumící síly F_G je patrný její hysteretzní projev způsobený právě již zmíněnou skutečností, že tlumící síla je závislá nejen na rychlosti pístnice, ale také na jejím zrychlení. Z diagnostického hlediska by bylo výhodnější tento projev eliminovat a posuzovat pouze závislost na rychlosti, tímto úkolem se bude zabývat následná kapitola.

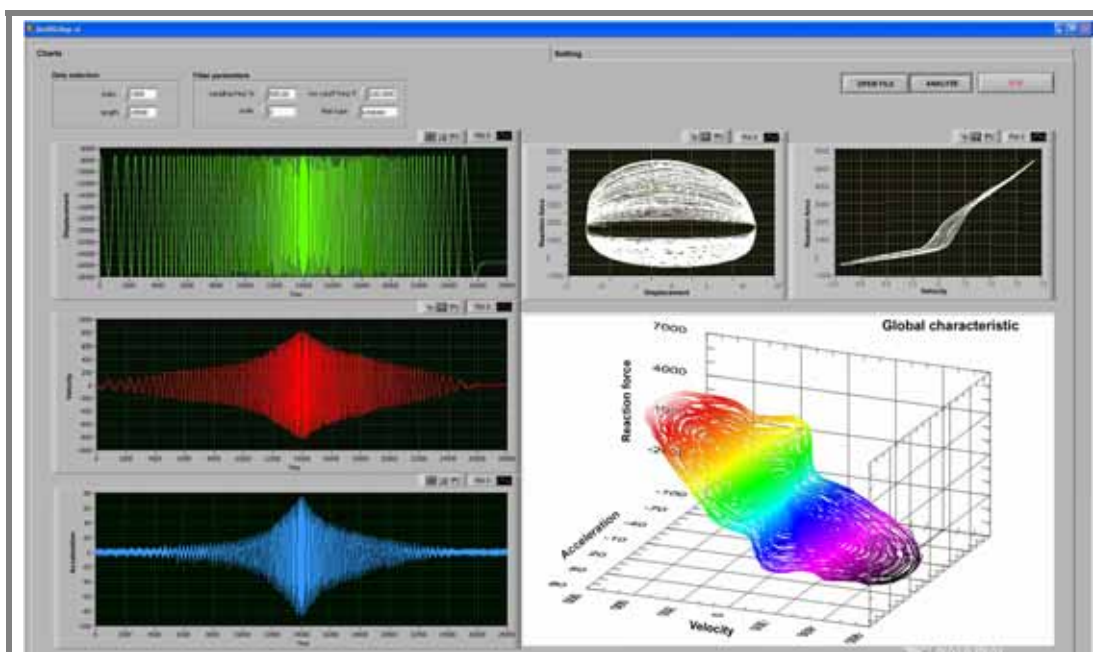


Obr. 6.13 Identifikované charakteristiky silových složek reakční síly tlumiče

Určení kvazistatické složky tlumící síly

Jedním z parametrů posuzování tlumiče odpružení je ověření velikosti tlumících sil, které jsou garantovány výrobcem. Výrobce zpravidla garantuje možný rozsah tlumících sil pro dané rychlosti pístnice. Korektní posouzení, však naráží na skutečnost, že tlumící síla je závislá taktéž na zrychlení pístnice, tzn. silový projev bude rozdílný pro různé zkušební frekvence.

Pro jednoznačnou identifikaci tlumící síly, která nebude závislá na zrychlení pístnice je nutno identifikovat síly v režimu, kdy zrychlení pístnice je rovno nule. Pro identifikaci kvazistatické síly vyjdeme se zobrazení celkové naměřené reakční síly v závislosti na rychlosti a zrychlení, tedy dvojrozměrnou závislost reakční síly. Pro možné sestrojení této charakteristiky byl tlumič Honda změřen na testovacím zařízení Gillop 1.4 v režimu s narůstající a posléze klesající zkušební frekvencí. Průběh měření je patrný z masky programu, který byl vytvořen jako nástavba řídicího programu Gillop.

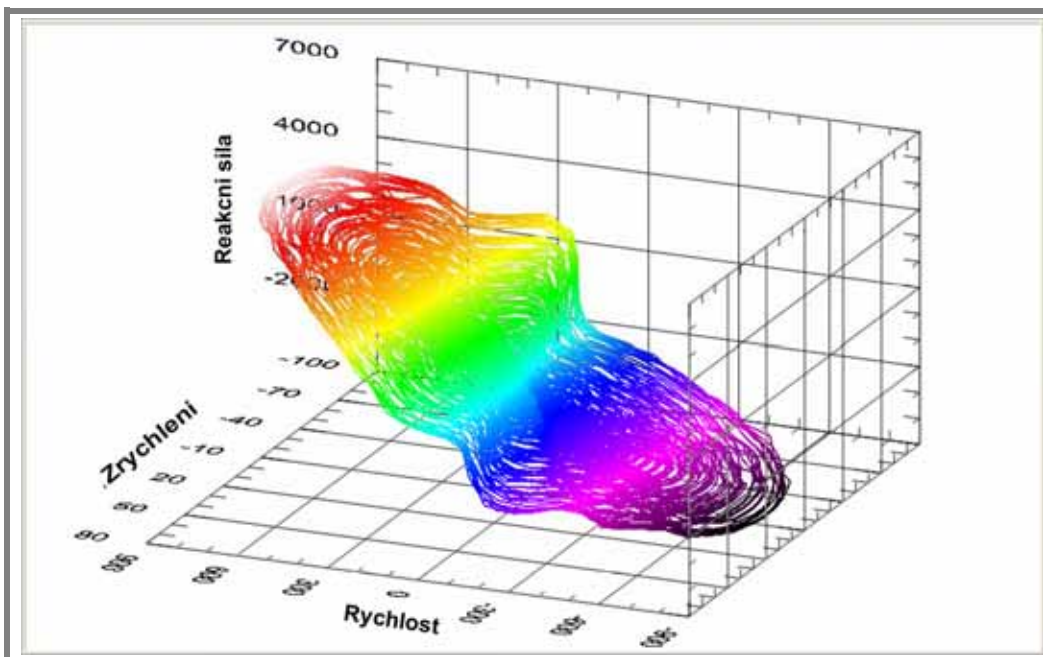


Obr. 6.14 Maska programu pro dynamické zkoušky tlumičů

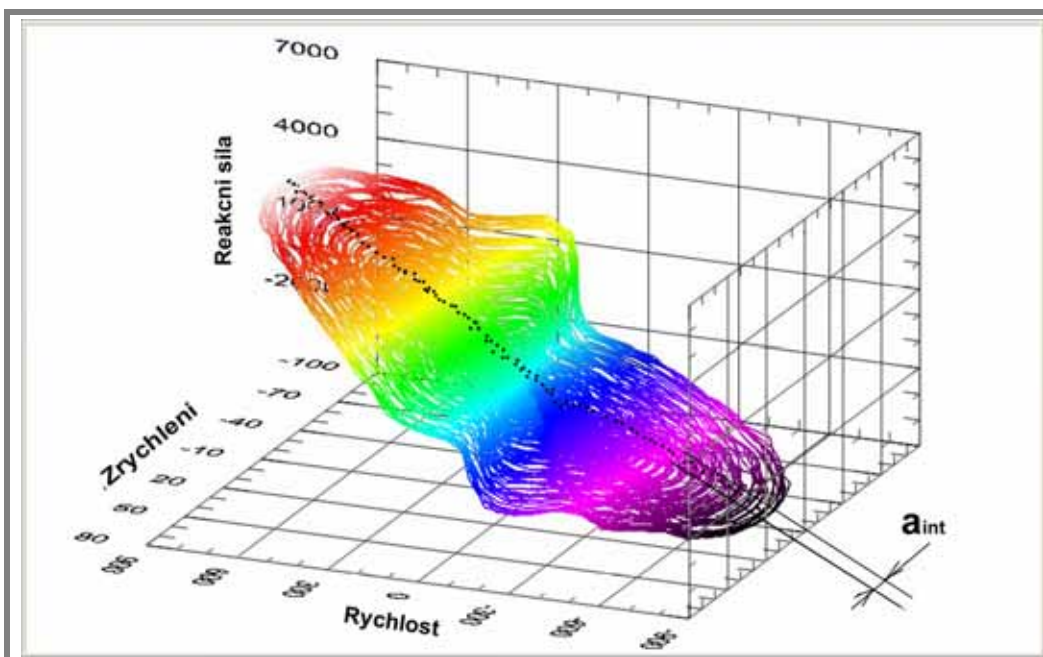
Snímanými signály byla celková reakční síla tlumiče a zdvih zkušebního zařízení, tedy v případě námi použitého fixního uchycení tlumiče se jedná o zdvih pístnice, časový průběh zdvihu je zobrazen v levé části obrazovky je zelenou křivkou. Červený průběh rychlosti a modrý průběh zrychlení jsou získány první a druhou derivací zdvihu pístnice. V pravé horní části masky jsou sestrojeny již dříve používané silové závislosti

na zdvihu a rychlosti. V pravém dolní části je pak sestrojená celková závislost tlumiče odpružení, která je v podstatě závislá i na poloze pístnice, tzn. že závislost je dána rovnicí (27). Složka závislá na poloze bude eliminována stejným postupem, který byl popsán v **kap.6.2.2**. Tedy odečtením změřené změřená silové složky F_p .

Plocha, která tímto postupem vznikne je popsána rovnicí (28) a graficky je zobrazena na **Obr. 6.15**.

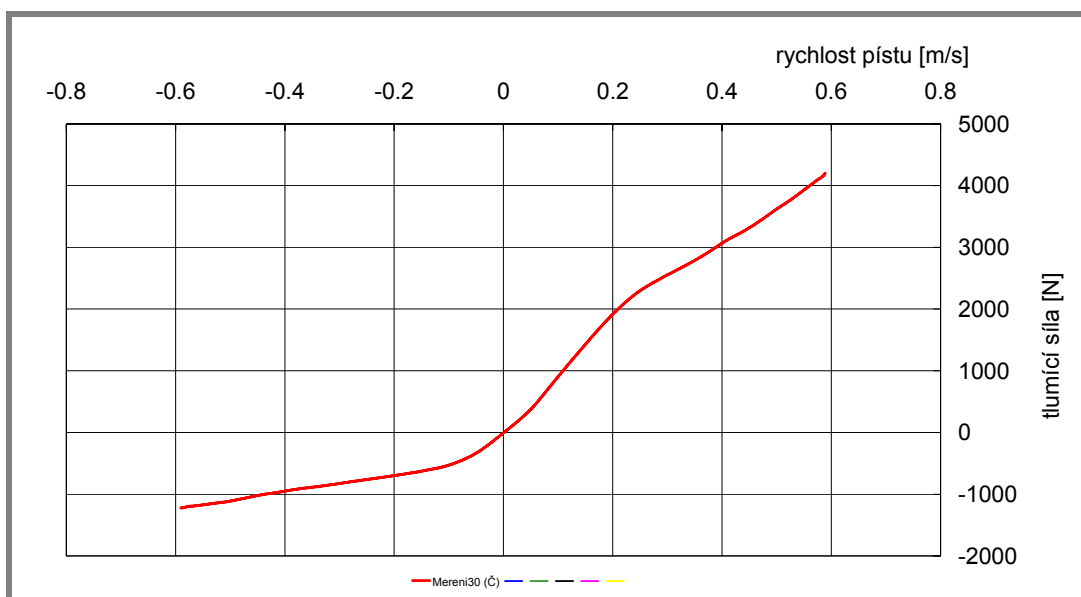


Obr. 6.15 Celková charakteristika tlumiče



Obr. 6.16 Identifikace kvazistatické tlumící síly

Pro identifikaci kvazistatické tlumící síly je proveden programový výběr naměřených bodů reakční síly v rovině rychlost – zrychlení pro úzký interval zrychlení $-0.15 < a < 0.15 \text{ ms}^{-2}$. Graficky je tento postup znázorněn na **Obr. 6.16**. Body z tohoto intervalu jsou následně promítnuty do roviny síla – zrychlení, kde je pomocí optimalizační metody nejmenších kvadrátů sestrojena charakteristika kvazistatické tlumící síly **Obr. 6.17**. Kvazistatickou tlumící sílu lze považovat za silovou složku reakční síly, která je závislá pouze na rychlosti pístnice. Z takto identifikovaného průběhu tlumící síly lze velice dobře definovat silové parametry tlumiče.



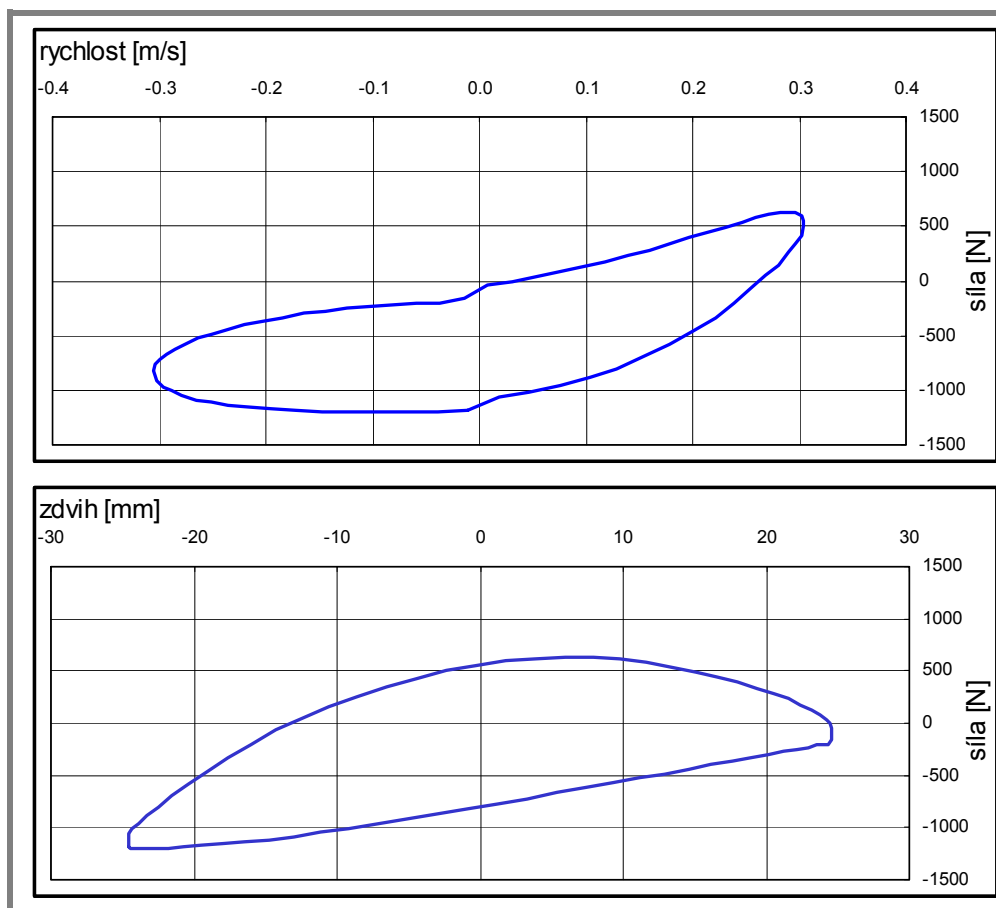
Obr. 6.17 Kvazistatická tlumicí síla

6.2.3 Experimentální ověření metodiky

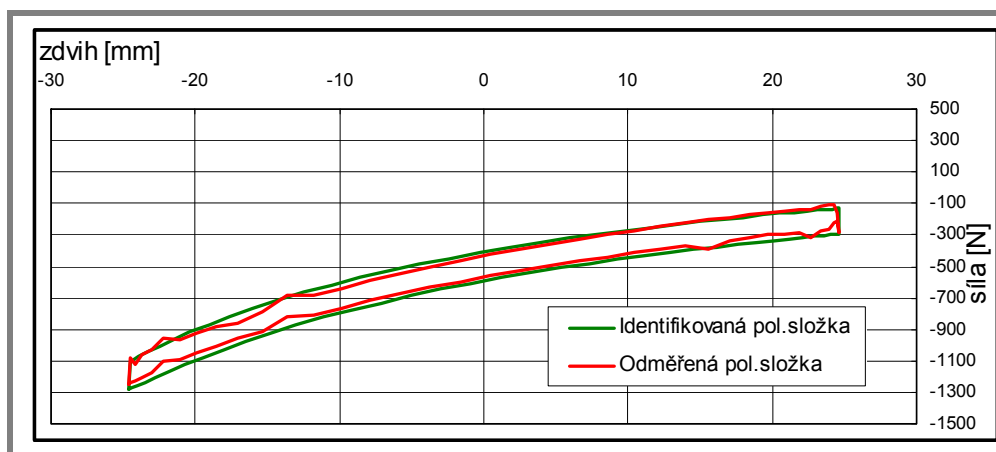
Experimentální ověření bude zaměřeno na postup, který byl použit pro identifikaci polohově závislé složky reakční síly a následný zisk celkové síly tlumicí. Jak již bylo zmíněno v úvodu **kap. 6.2.2** není prakticky možné odstranit fyzicky polohově závislou složku přímo na měřeném vzorku a z experimentálních důvodů provést odměření pouze složky tlumicí, jelikož tlumicí funkce je často podmíněna velikostí reakční síly, tedy tlumič je silově naladěn na určitý silový rozsah, který již zohledňuje i složku od polohově závislé síly. Nicméně je možné odstranit složku tlumicí a zhodnotit, zda presentovaná metoda identifikace polohově závislé složky bude dosahovat podobných výsledků. Cílem experimentálního ověření bude tedy porovnat identifikovanou polohově závislou složku reakční síly s charakteristikami, které byly odměřeny na tlumiče s fyzicky odstraněným tlumením. Jako zkušební vzorku je zvláště výhodné použití tlumiče, kde má polohově závislá složka významný silový podíl, z těchto důvodů byla použita hydropneumatická jednotka typu Krňávek, jejíž funkce byla popsána v **kap.4.1.4**. Jednotka byla odměřena na zkušební stoličce Gillop 1.4, tlak vzduchu v jednotce byl 0,2MPa v roztáženém stavu, maximální rychlost $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a zdvih 50mm. Výsledné charakteristiky jsou na **Obr. 6.18**. Následně byla na stejném zařízení provedena identifikace polohově závislé složky dle metodiky popsané v **kap.6.2.1**. Jako druhý krok experimentu byla provedena demontáž jednotky a odstranění tlumicího člunku, pístu a tělesa (viz. **Obr. 4.8**), čímž byla odstraněna tlumicí funkce. Následně bylo provedeno měření za stejných podmínek, za jakých byly měřeny původní charakteristiky. Srovnání charakteristik, které byly získány oběma metodami jsou zobrazeny na **Obr. 6.19**. Ze srovnání je patrné, že identifikovaná polohově závislá složka reakční síly se přibližuje svým průběhem charakteristice odměřené v režimu odstraněného tlumení. Diference jsou způsobeny skutečností, že identifikace je provedena při nižší kluzné

6.2.3

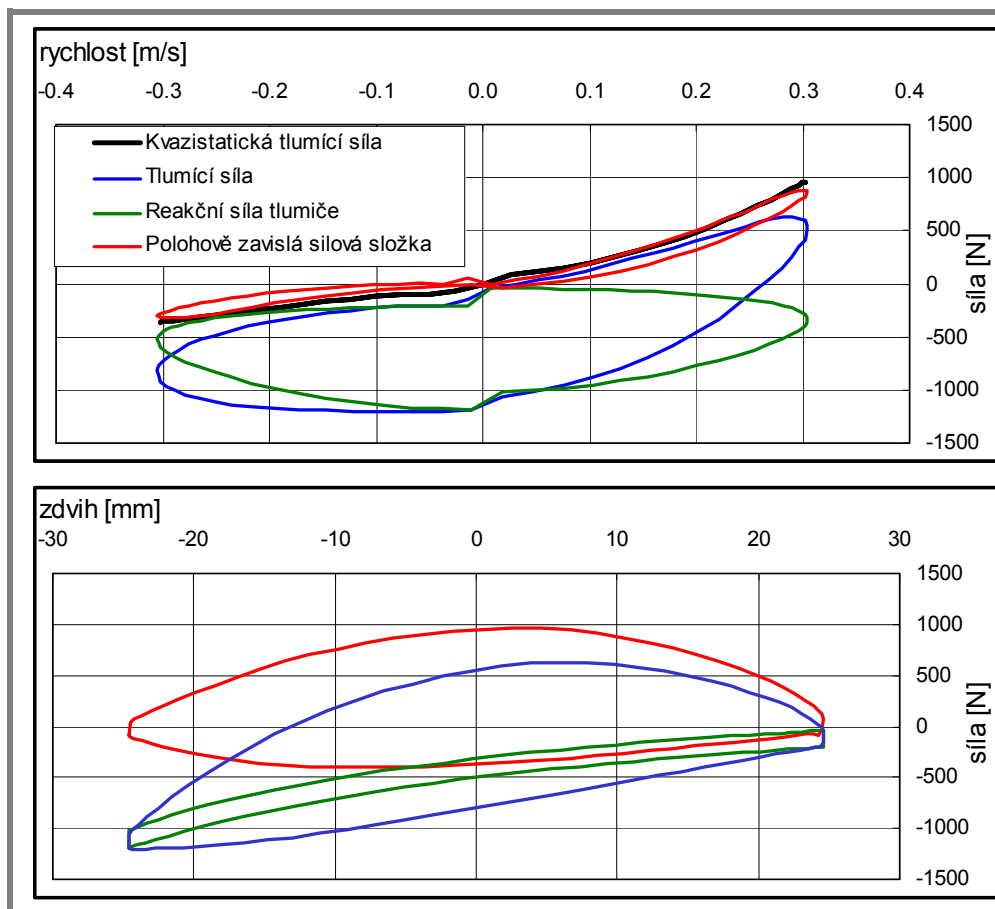
rychlosti, avšak rozdíly lze považovat za nevýznamné. Na identifikované a odměřené charakteristice jsou dobře patrné vlivy tření. Třecí síla je prakticky konstantní v celém průběhu zdvihu, pouze se mění její směr se změnou směru pohybu. Hlavní motivací identifikace polohově závislé složky je následná identifikace tlumící síly odečtením z celkové reakční síly dle algoritmu popsaném v **kap.6.2.2**. Kompletní silová identifikace hydropneumatické jednotky, včetně tlumící a kvazistatické tlumící síly, je zobrazena na **Obr. 6.20**.



Obr. 6.18 Charakteristiky hydropneumatické jednotky



Obr. 6.19 Experimentální ověření identifikace polohově závislé složky

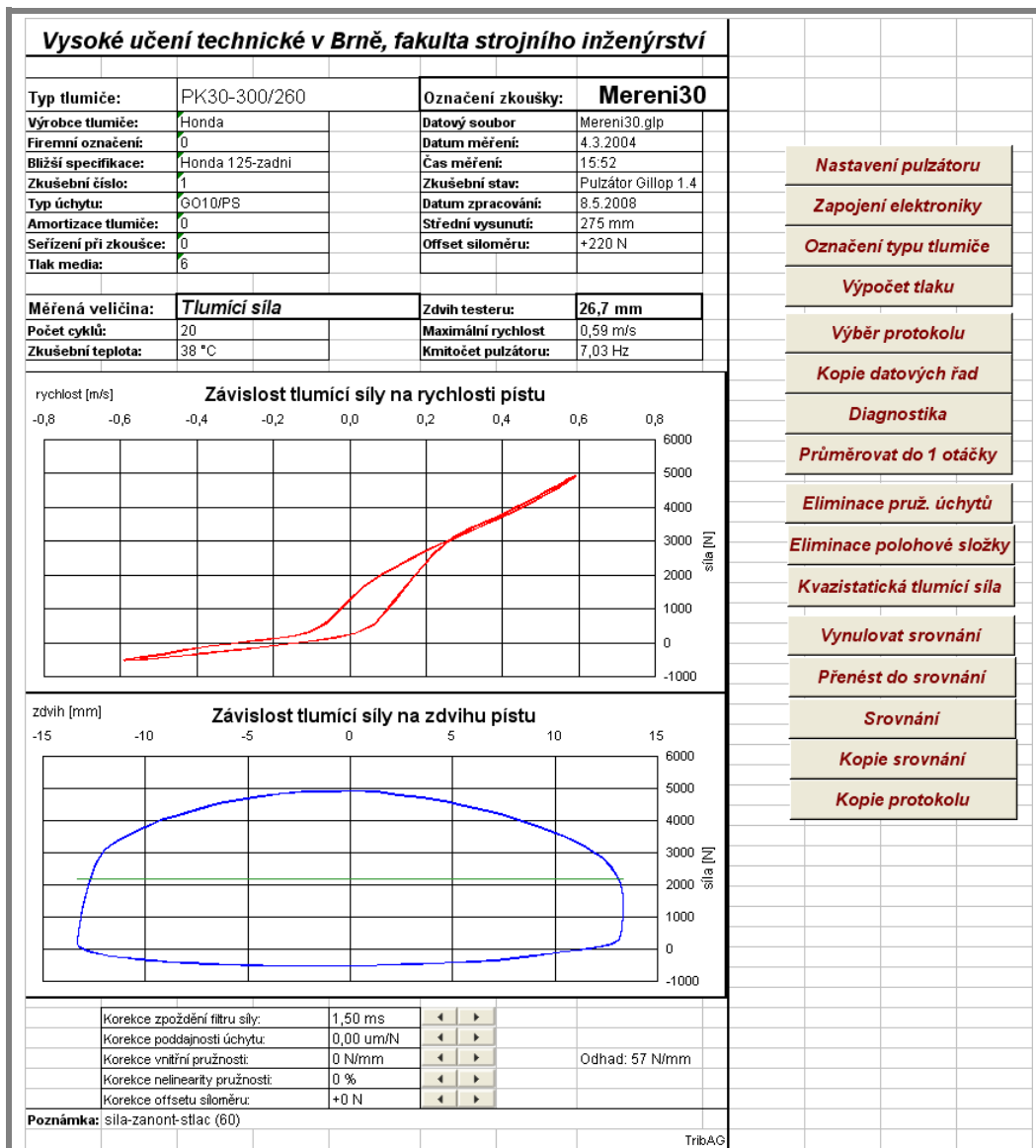


Obr. 6.20 Celková silová identifikace hydropneumatické tlumící jednotky

6.3 Diagnostický přínos navržené metodiky posuzování tlumičů odpružení

6.3

Metodické postupy, které byly představeny v **kap.6** jsou programově vyřešeny a sloučeny do jedné aplikace a sice programu Gillop_post. Tento program tedy provádí na základě navržených metod eliminaci projevu pružných úchytů tlumiče, dále eliminaci načtené polohově závislé síly, na jejímž základě je získána celková tlumící síla a dále je možno spočítat kvazistatickou tlumící sílu. Samozřejmostí je porovnání naměřených charakteristik. Významný diagnostický přínos je v oddělení jednotlivých kroků při eliminaci, či identifikaci silových složek a jejich možného vzájemného porovnání, čehož se využívá např. při hodnocení závad, které jsou vázány na daný projev tlumiče odpružení. Experimentální měření, která dále ověřily funkcionalitu navržených metod jsou přílohou této práce. Maska analyzačního programu Gillop_post je zobrazena na **Obr. 6.21**.



Obr. 6.21 Maska analyzačního programu Gillop_post

7 ZÁVĚR

V rámci této práce jsou představeny nové metody hodnocení tlumičů odpružení, které byly zaměřeny na co možná nejvěrnější identifikaci a popis vlivů, které způsobují charakteristické odchylky v chování reálného tlumiče. Tyto odchylky jsou charakterizovány především hysterezními projevy, které jsou identifikovány v naměřených výkonových charakteristikách tlumiče, kde se posuzuje závislost reakční síly na kinematických veličinách buzení, a sice na posunutí a relativní rychlosti mezi pístnicí a válcem tlumiče. Zmíněné odchylky značně komplikují zodpovědné hodnocení tlumiče odpružení, jelikož jejich projev je často závislý na přesných podmínkách měření. Mnohdy se jednotlivé projevy v průběhu hodnocení navzájem kompenzují a tím zcela znemožňují jejich odhalení a posouzení.

Jednou z nutných podmínek splnění úkolů této práce byla realizace zkušebního pracoviště Gillop 1.4, jejichž nosným prvkem je mechanická zkušební stolice postavená na klikovém principu. Následným úkolem bylo sestavení a odladění měřicího řetězce a tvorba plně profesionálního řídicího programu. Nová koncepce analýzy dat, která je jádrem řídicího programu, podporující on-line sledování výkonových charakteristik tlumiče, umožňuje využívat už odepisovaný typ mechanického testeru, což může mít velký ekonomický přínos nejen pro servisní praxi.

Ústředním tématem práce, ze kterého vycházejí i navrhované postupy hodnocení, je fakt, že reakční síla tlumiče není, jak je obecně uvažováno, funkcí pouze relativní rychlosti pístnice, ale vykazuje obecnou závislost na posuvu, rychlosti a také zrychlení. Mezi jednotlivé vlivy způsobující silové odchylky reálného tlumiče odpružení byly zahrnuty projevy použití pružných úchytných elementů, vliv polohově závislých složek reakční síly tlumiče, které souvisí s použitím plyných náplní, které jsou aplikovány v 90% vozidlových tlumičů odpružení. Posledním a zásadním vlivem jsou silové projevy hmoty jednotlivých pohyblivých komponent a hydrodynamické projevy tlumičové kapaliny.

Pro jednotlivé zmíněné projevy jsou prezentovány metodické postupy hodnocení, jejichž výsledkem je identifikace popř. eliminace daného projevu. Součástí každého návrhu je i experimentální ověření dané metody. Motivací těchto postupů byla separace jednotlivých silových složek reakční síly, a následnou možností je jednotlivě posuzovat standardními postupy. Podstatným přínosem je i vytvoření analyzačního programu Gillop_post, který zahrnuje všechny navržené postupy v jeden celek, kde je možné analyzovat jednotlivé příčiny zmíněných projevů popř. vad tlumiče.

Metoda navržená pro eliminaci projevu zrychlení pohyblivých komponent, která spočívá v zobrazení a následném zpracování reakční síly jako funkce dvou proměnných (rychlost a zrychlení) poskytuje ještě další výzkumný potenciál, který bude využit zejména v modelování reálného tlumiče odpružení. Následný výzkum se bude zabývat matematicko-fyzikálním popisem a identifikací této dvoudimenzionální charakteristiky tlumiče.

8 OBSAH

8.1 Obsah

1 Úvod	4
2 Technická diagnostika podvozku vozidla	5
2.1 Brzdová soustava	5
2.2 Řízení	5
2.3 Závěs kola	6
2.3.1 Odpružení a stabilizátor	6
2.3.2 Tlumiče odpružení	6
3 Formulace problémů a cílů disertační práce	8
4 Rešeršní studie – diagnostika závěsu kola vozidla	9
4.1 Tlumič odpružení jako ústřední element závěsu kola	9
4.1.1 Klasické konstrukce tlumičů odpružení	9
4.1.2 Tlumiče s polohově závislým tlumením	11
4.1.3 Tlumiče s elektronicky řízeným tlumením	12
4.1.4 Tlumiče nekonvenčních konstrukcí	13
4.2 Východiska diagnostiky tlumičů odpružení	16
4.2.1 Metody bezdemontážní diagnostiky tlumičů	16
4.2.2 Testování tlumičů demontovaných z vozidlové zástavby	18
4.2.3 Hodnocení stavu a vlastností tlumiče odpružení	21
5 Realizace experimentálního pracoviště	32
5.1 Mechanická konstrukce testeru Gillop 1.4	32
5.2 Měřicí řetězec testeru Gillop 1.4	34
5.3 Řídící program testeru Gillop 1.4	35
5.3.1 Volba vhodného programového prostředí	35
5.3.2 Popis řídicího programu	37
6 Návrh metodiky testování demontovaných tlumičů	43
6.1 Identifikace a eliminace projevu pružných úchytlů tlumiče	44
6.1.1 Popis metody identifikace a eliminace pružných úchytlů	46
6.1.2 Experimentální ověření metodiky	47
6.2 Identifikace silových složek reakční síly tlumiče odpružení	49
6.2.1 Identifikace polohově závislé složky	50
6.2.2 Identifikace tlumící síly	53
6.2.3 Experimentální ověření metodiky	57
6.3 Diagnostický přínos navržené metodiky posuzování tlumičů odpružení	59
7 Závěr	61
8 Obsah	62
8.1 Obsah	62
8.2 Seznam obrázků	63
8.3 Seznam tabulek	64
8.4 Přílohy – CD (obsah)	64
9 Seznam použitých zkratk a symbolů	65
10 Literatura	66

8.2 Seznam obrázků

Obr. 4.1 Pákový dvojitý hydraulický tlumič [2]	9
Obr. 4.2 Dvouplášťový teleskopický dvojitý tlumič [1]	10
Obr. 4.3 Jednoplášťový teleskopický dvojitý tlumič [1]	11
Obr. 4.4 Polohově závislé tlumení tlumičů se systémem Sensa–Trac a Sensa–Trac Safe Tech	11
Obr. 4.5 Tlumicí systém DCD [2]	12
Obr. 4.6 Tlumič s elektronicky řízeným tlumením	13
Obr. 4.7 Pružící jednotky s vestavěným tlumičem	14
Obr. 4.8 Teleskopická hydropneumatická jednotka	15
Obr. 4.9 TriStar Shock Tester [7]	17
Obr. 4.10 M-Tronic SDT 2000/U	17
Obr. 4.11 Zkušební zařízení Koni [9]: padací zařízení a zapisovač	17
Obr. 4.12 Zkušební zařízení HEKA Univers	17
Obr. 4.13 Boge Shock tester [5]	18
Obr. 4.14 Tritec Diagnostic System	18
Obr. 4.15 Mechanická měřicí stolice [10]	19
Obr. 4.16 Hydraulická měřicí stolice MTS 850	20
Obr. 4.17 Pneumatický pulsátor E-5 Shock Dyno	20
Obr. 4.18 Jednoduchý tester s mechanickým zapisovačem	20
Obr. 4.19 F-v a F-z charakteristiky tlumiče	21
Obr. 4.20 Tlumicí charakteristiky ideálního tlumiče:	22
Obr. 4.21 Konstrukce průtokových ventilů	23
Obr. 4.22 Naměřené F-z charakteristiky a sestojené F-v charakteristiky tlumiče	24
Obr. 4.23 Závislost špičkových hodnot tlumících sil na špičkových hodnotách rychlosti pístnice	25
Obr. 4.24 F-v a F-z charakteristiky tlumiče naměřené na hydraulickém pulsátoru MTS 850	25
Obr. 4.25 Průběhy F-v a F-z dvouplášťového tlumiče pro dvě různé frekvence zatěžování	27
Obr. 4.26 Zjednodušený model škrťacího ventilu	29
Obr. 4.27 Závislost konstanty tlumení b na teplotě tlumičového oleje	30
Obr. 4.28 F-v a F-z charakteristiky reálného a ideálního tlumiče	31
Obr. 5.1 Měřicí stolice Gillop 1.4	32
Obr. 5.2 Průběhy zkušebního zdvihu a rychlosti během pracovního zdvihu	33
Obr. 5.3 Schéma měřicího řetězce zařízení Gillop 1.4	34
Obr. 5.4 Schéma programového měřicího systému	35
Obr. 5.5 Principiální schéma obslužného programu	37
Obr. 5.6 Demonstrace funkcionality decimace měřeného signálu	38
Obr. 5.7 Struktura grafického programového zápisu	39
Obr. 5.8 Okno servisního módu	40
Obr. 5.9 Okno měřicího módu	41
Obr. 5.10 Struktura souboru s výstupními daty	42
Obr. 6.1 Mechanický model soustavy tlumič - zkušební zařízení	43
Obr. 6.2 Tlumičová závěsná oka a čepy s pryžovými členy [2]	45
Obr. 6.3 Uchycení tlumiče	45
Obr. 6.4 Projev pružných úchytů tlumiče	45
Obr. 6.5 Schéma deformace pružného úchytu tlumiče	46

Obr. 6.6	Charakteristika úchyty tlumiče	47
Obr. 6.7	Korekce výkonových charakteristik v oblasti rychlosti a zdvihu	48
Obr. 6.8	Charakteristiky tlumiče po eliminaci projevu pružných úchytů	49
Obr. 6.9	Jednoplášťový seřizovatelný tlumič s externí nádobkou	51
Obr. 6.10	Charakteristiky tlumiče ovlivněné rozdílným tlakem v externí nádobce	52
Obr. 6.11	Charakteristika polohově závislé síly F_p	52
Obr. 6.12	Projev nedostatečného tlaku plynu na tlumicí vlastnosti tlumiče	53
Obr. 6.13	Identifikované charakteristiky silových složek reakční síly tlumiče	54
Obr. 6.14	Maska programu pro dynamické zkoušky tlumičů	55
Obr. 6.15	Celková charakteristika tlumiče	56
Obr. 6.16	Identifikace kvazistatické tlumicí síly	56
Obr. 6.17	Kvazistatická tlumicí síla	57
Obr. 6.18	Charakteristiky hydropneumatické jednotky	58
Obr. 6.19	Experimentální ověření identifikace polohově závislé složky	58
Obr. 6.20	Celková silová identifikace hydropneumatické tlumicí jednotky	59
Obr. 6.21	Maska analyzačního programu Gillop_post	60

8.3 Seznam tabulek

Tab. 1	Typické závady tlumičů odpružení	28
Tab. 2	Měřicí programové systémy	36

8.4 Přílohy – CD (obsah)

1. Řídící program testeru Gillop 1.4
2. Analyzační program Gillop_post
3. Záznamy experimentálních měření
4. Uživatelská příručka řídicího programu testeru Gillop 1.4

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

F [N]	- reakční síla tlumiče
v [m.s ⁻¹]	- rychlost činné části tlumiče
z [m]	- poloha pístnice tlumiče
F_T [N]	- tlumící síla ideálního tlumiče
b	- konstanta tlumení
m	- exponent tlumení
d [mm]	- průměr pístu tlumiče
s [mm]	- tloušťka štěrby
Δp [Pa]	- tlaková diference na pístu
η	- dynamická viskozita kapaliny
l_p [mm]	- délka pístu
S_s [mm ²]	- plocha štěrby
S_p [mm ²]	- plocha pístu
a [m.s ⁻²]	- zrychlení pohyblivých částí tlumiče
R [m]	- excentricita klikového mechanismu
l [m]	- délka ojnice klikového mechanismu
p	- počet zubů pulzního kola
ω [rad.s ⁻¹]	- úhlová rychlost kliky
i	- pořadí detekovaného zubu pulzního kola
k [rad]	- fázová korekce časového zpoždění hardwarových filtrů
m_1 [kg]	- hmota kineticky spojená s buzením
m_2 [kg]	- hmota spojená s měřicím zařízením síly
k_T [N.m ⁻¹]	- tuhost plynové náplně tlumiče
k_1 [N.m ⁻¹]	- tuhost pružného úchyty 1
k_2 [N.m ⁻¹]	- tuhost pružného úchyty 2
q_1 [m]	- posunutí hmoty 1
q_2 [m]	- posunutí hmoty 2
φ [rad]	- úhlové natočení pohonu
F_Z [N]	- budící síla zkušebního zařízení
F_R [N]	- měřená reakční síla reálného tlumiče
F_P [N]	- polohově závislá síla
F_G [N]	- tlumící síla reálného tlumiče

10 LITERATURA

- [1] DIXON J.C.: *The Shock Absorber Handbook*, Society of Automotive Engineers, 1999, ISBN 0-7680-0050-5
- [2] VLK, F. *Podvozky motorových vozidel*, NZV Brno, 2000
- [3] DUYM S, STIENS R, REYBROUCK K: *Evaluation of shock absorber models*, *Vehicle System Dynamics* 27 (2): 109-127 FEB 1997, ISSN: 0042-3114
- [4] BOICHOT P: *Numerical modelling of an hydraulic damper*, *Mecanique Industrielle Et Materiaux* 51 (2): 83-85 JUN 1998, ISSN: 1244-9091
- [5] VLK, F. *Dynamika motorových vozidel*, NZV Brno, 2000
- [6] LEE K, *Numerical modelling for the hydraulic performance prediction of automotive monotube dampers*, *Vehicle System Dynamics* 28 (1): 25-39 JUL 1997, ISSN: 0042-3114
- [7] MAZŮREK, I. *Bezdemontážní diagnostika automobilových závěsů kol*, habilitační práce, VUT-FSI Brno, 2000
- [8] REIMPELL, J. *The Automotive Chassis*, London, 1996
- [9] BEDROŠ, J., BERÁNEK K. *Diagnostika silničních motorových vozidel*, NDS Praha, 1985
- [10] VLK, F. *Zkoušení vozidel*, VUT Brno, 1992
- [11] KRATOCHVÍL, C. SLAVÍK, J. *Mechanika těles – dynamika*, PC-dir Brno, 1997
- [12] FLEISCHER, P. *Hydromechanika*, VUT Brno, 1992
- [13] ŠKLÍBA, J.: *Inerciální složka výsledné síly jednoplášťového hydraulického tlumiče*, Konference "Dynamika, pevnost a pružnost strojních konstrukcí, Svatka 1992
- [14] VOTRUBEC, R.: *Globální charakteristika tlumiče*, disertační práce, TU Liberec, 2005
- [15] ŠINDELÁŘ, M.: *Uživatelská příručka programu testeru Gillop 1.4*, interní dokument VUT FSI UK Brno
- [16] www.ni.com
- [17] www.dewetron.com

