VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONSTRUKCE PŘEDNÍHO ODPRUŽENÍ MOTOKROSOVÉHO MOTOCYKLU
DIRT BIKE SUSPENSION CONSTRUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Vlastimil Kučera
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Michal Janoušek, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	**Bc. Vlastimil Kučera**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	**Ing. Michal Janoušek, Ph.D.**
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukce předního odpružení motokrosového motocyklu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracovat přehled vidlic používaných pro přední odpružení motokrosového motocyklu. Popsat požadavky na ně kladené, jejich funkci, možnosti seřizování a jednotlivá konstrukční uspořádání.

Cíle bakalářské práce:

Popsat požadavky kladené na přední odpružení motokrosového motocyklu.
Popsat jednotlivá konstrukční provedení přední vidlice motokrosových motocyklů dostupných na trhu.
Zhodnotit klady a zápory použitých konstrukčních řešení.

Seznam literatury:

THEDE, P., PARKS, L. Race Tech's motorcycle suspension bible. Minneapolis, Minn.: Motorbooks, 2010. ISBN 0760331405

DIXON, J. The shock absorber handbook. 2nd ed. Chichester, England: John Wiley, 2007. ISBN 047051700

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 22. 11. 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
DĚKANÁT

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Přední odpružení zásadně ovlivňuje vlastnosti motocyklu, proto je nutné zabývat se jeho problematikou. Bakalářská práce uvádí jednotlivé funkce odpružení, popisuje a vysvětluje pružení vidlic s vinutou i vzduchovou pružinou, rozebírá systém tlumení a ukazuje možnosti nastavení vidlic. Porovnává konstrukční řešení vidlic použitých u sériových motokrosových motocyklů v letech 2016 a 2017 a upozorňuje na jejich případné výhody či nevýhody. Vidlice se od sebe liší hlavně typem pružiny a tím, jestli pružící i tlumící funkci vykonávají obě nohy vidlice, nebo mají funkce odděleny. Každé řešení má své výhody a nevýhody, záleží hlavně na celkovém nastavení vidlice.

KLÍČOVÁ SLOVA

vidlice, motokros, odpružení, vinutá pružina, vzduchová pružina, tlumení, tlumící patrona, tření, kavitace

ABSTRACT

Front suspension significantly influences the characteristics of the motorcycle, so it is necessary to deal with the problem. The bachelor thesis presents individual suspension functions, it describes and explains function of air spring and coil spring forks, analyzes the damping system and shows the options for settings of the forks. It compares the design of the forks used in production motocross motorcycles from 2016 and 2017 and refers to their potential advantages or disadvantages. The forks differ from each other mainly by the type of spring, and whether each leg contains spring and damper or they have a separate function. Each solution has its advantages and disadvantages, it depends mainly on the overall setting of the fork.

KEYWORDS

fork, motocross, suspension, coil spring, air spring, damping, cartridge, friction, cavitation

Bibliografická citace

KUČERA, V. *Konstrukce předního odpružení motokrosového motocyklu.* Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 52 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Janoušek, Ph.D..

Čestné prohlášení

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

V Brně dne 22. května 2017 ……..……..……..

Vlastimil Kučera

Poděkování

Rád bych poděkoval především svému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Michalu Janouškovi, Ph.D., za cenné rady a odbornou pomoc při jejím vypracování.

Obsah

Úvod 10
1 Funkce přední vidlice 11
1.1 Konstrukční uspořádání vidlice 12
1.2 Pružení 13
1.2.1 Pružení vidlic s vinutou pružinou 13
1.2.2 Pružení vidlic se vzduchovou pružinou 16
1.3 Tlumení 19
1.3.1 Tlumící patrona 20
1.3.2 Proudění písty 23
1.3.3 Tlumení roztažení 25
1.3.4 Tlumení stlačení 25
1.3.5 Kavitace 26
1.3.6 Kapalina v tlumiči 27
1.4 Tření 27
1.4.1 Statické tření 28
1.4.2 Dynamické tření 28
1.4.3 Viskózní tření 29
1.5 Možnosti nastavení 29
1.5.1 Předpětí pružiny 29
1.5.2 Tlumení ve stlačení 29
1.5.3 Tlumení v roztažení 30
1.5.4 Závlek 30
1.5.5 Olej 31
2 Současně dostupné odpružené vidlice 32
2.1 SHOWA 33
2.1.1 Historie 33
2.1.2 SFF TAC 33
2.1.3 SFF TAC INTERNAL 35
2.1.4 SFF COIL SPRING 37
2.1.5 49 mm 38
2.2 KAYABA 39
2.2.1 Historie 39
2.2.2 PSF-2 39
2.2.3 SSS 40
2.3 WP 42

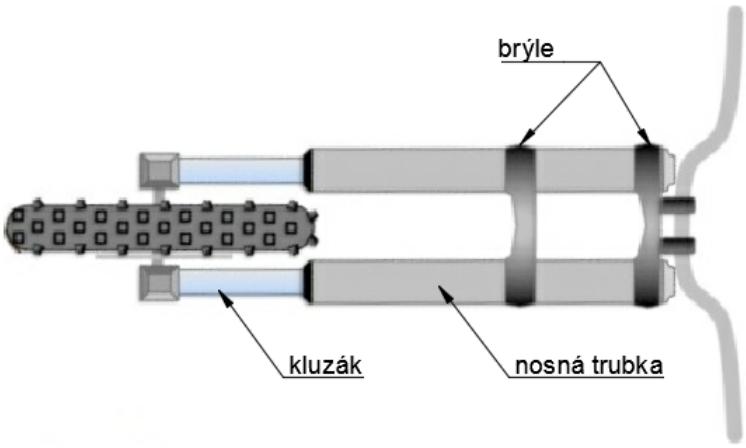
2.3.1 Historie 42
2.3.2 4CS 42
2.3.3 AER 48 45
Závěr 47
Seznam použitých zkratek a symbolů 51

ÚVOD

Přední odpružená vidlice je hlavní součástí systému odpružení motocyklu a zásadním způsobem ovlivňuje jeho jízdní vlastnosti. Hlavním úkolem odpružení je snížit negativní silové namáhání jednotlivých částí podvozku a udržovat maximální možný kontakt kola s vozovkou, jenž ovlivňuje akceleraci a deceleraci motocyklu. U motokrosových motocyklů je odpružení obzvlášť důležité. Tratě, na kterých se pohybují, jsou tvořeny nezpevněným povrchem a jsou plné skoků a nerovností. Ideální odpružení, by se mělo těmto nerovnostem přizpůsobit tak, aby ve všech jízdních režimech udržovalo stálý kontakt kola s povrchem a motocykl tak měl maximální možnou trakci. Bez odpružení by se kola pohybovala jen po vrcholcích nerovností, což by rapidně snížilo jejich kontakt s povrchem. Vidlice musí být dostatečně citlivá, aby dokázala pohltit i malé nerovnosti, ale zároveň musí být schopna se vyrovnat s velkými rázy. Požadavky kladené na vidlici jsou opravdu náročné a pro jejich splnění musí být každý komponent vidlice pečlivě navrhnut.

1 FUNKCE PŘEDNÍ VIDLICE

Přední vidlice slouží ke spojení předního kola s rámem. Dnes je nejrozšířenějším provedením teleskopická přední vidlice. Plní funkce vedení, řízení a odpružení kola. Teleskopickou vidlici tvoří dvě nohy vidlice a brýle. Brýlemi jsou nohy vzájemně spojeny a také připojeny k rámu motocyklu. Každá noha se skládá ze dvou dutých trubek. Z horní nosné trubky upevněné k brýlím a spodní, zvané kluzák, ke které je upevněna osa kola. Kluzák se pohybuje po nosné trubce. Podle typu konstrukčního uspořádání tvoří nosnou trubku buď vnitřní, nebo vnější trubka. Do vnitřního prostoru trubek je umístěna pružina a tlumič kmitů, které zajišťují pružící a tlumící funkci vidlice. [12]



Obr. 1 Základní části vidlice [11]

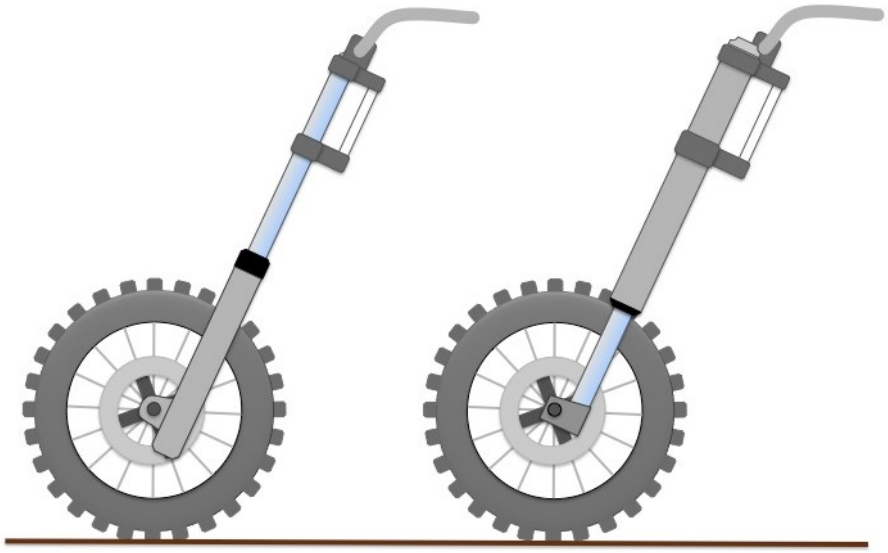
Pružení

Povrchy, po kterých se motocykly pohybují, obsahují spoustu nejrůznějších nerovností. Při jejich překonávání dochází k nepříznivému silovému působení, které je přes kola motocyklu přenášeno na jeho další komponenty a také na jezdce. Proto se pro spojení kola se zbytkem motocyklu používá pružné spojení, aby toto nepříznivé působení omezilo. Kinetická energie vzniklá při přejezdu nerovnosti se přemění na potenciální energii pružiny, která se následně opět přemění na energii kinetickou. Dojde ke kmitání soustavy, které se postupně snižuje vlivem tření. Kmitáním však dochází ke změně přítlačné síly mezi kolem a vozovkou, a tak je nutné ho tlumit. Z tohoto důvodu se pružina používá v kombinaci s tlumičem kmitů. [10]

Tlumení

Tlumič kmitů, dále jen tlumič, je součást vidlice motocyklu, která tlumí nepříznivé kmitání neodpružených hmot, čímž zvyšuje kontakt kola s vozovkou a přímo ovlivňuje bezpečnost provozu. Tlumí také kmitání odpružených hmot, což přispívá ke zvýšení jízdního komfortu. Kinetická energie je v tlumiči vlivem viskózního a smykového tření transformována na teplo, které je následně vyzářeno do okolí. Dochází tedy k maření kinetické energie. Vhodným nastavením tlumiče dochází ke snížení opotřebení pneumatiky a jednotlivých komponentů podílejících se na zavěšení kola. [10]

1.1 KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ VIDLICE



Obr. 2 Konvenční (vlevo) a převrácené (vpravo) uspořádání vidlice [11]

Konvenční uspořádání

Konvenční uspořádání (right side up) lze jednoduše poznat podle toho, že trubka menšího průměru, tedy vnitřní, je uchycená v brýlích a kluzák je tvořen trubkou vnější. Toto uspořádání se již pro sportovní motocykly nepoužívá. Při zachování nízké hmotnosti nedokáže plnit dnešní vysoké nároky na tuhost vidlice. [8]

Převrácené uspořádání

U motokrosových a jiných sportovních motocyklů se od konce osmdesátých let setkáváme výhradně s teleskopickou vidlicí s obráceným uspořádáním (upside down). Toto konstrukční řešení má většinou oproti konvenčnímu uspořádání menší neodpružené hmoty, jejichž zmenšení vždy vede k lepším jízdním vlastnostem. Hlavně však poskytuje výrazně vyšší předozadní tuhost, které je dosaženo tím, že v místě působení největšího ohybového momentu, tj. v blízkosti hlavy rámu, je namáhána vnější trubka vidlice, která má podstatně větší průměr, než trubka vnitřní. USD vidlice tedy vykazuje menší průhyb. Vyšší tuhost vede k lepší odezvě a tím k lepšímu pocitu z jízdy. Při jízdě zasahují kluzák vidlice kameny a nečistoty odletující od předního kola. U převráceného uspořádání je kluzákem vnitřní trubka, takže zejména jízdou v terénu dochází k jejímu většímu opotřebení. Více se opotřebovává také gufero mezi vnitřní a vnější trubkou, protože musí stírat nečistoty, které se usadí na kluzáku. [8]

1.2 PRUŽENÍ

Pro zajištění pružící funkce přední vidlice se používá pružina vinutá nebo pružina vzduchová.

1.2.1 PRUŽENÍ VIDLIC S VINUTOU PRUŽINOU

U vidlic tohoto typu vytváří hlavní část pružící síly vinutá pružina. Je to nejběžněji používaný typ pružiny. Jedná se o drát stočený do šroubovice, který je ve své pružné oblasti namáhán krutem.

„Pružiny jsou strojní součásti, které mají schopnost akumulovat mechanickou energii na základě pružné deformace materiálu, ze kterého jsou vyrobeny.“[5]

Síla ve vinuté pružině

Je síla, kterou pružina působí, pokud je stlačena o určitou vzdálenost. Při zanedbání ztrát je tato síla rovněž rovna síle, kterou bylo nutné na pružinu působit, aby byla o tuto vzdálenost stlačena.

Závislost síly v pružině na velikosti stlačení se řídí dle vztahu [5]:

$$F = K \cdot x \tag{1}$$

K… tuhost pružiny [N/mm]

x… délka stlačení pružiny [mm]

U vidlic motocyklů je možné se setkat s vinutými pružinami, které mají lineární nebo progresivní charakteristiku.

Lineární vinuté pružiny

Tento typ pružin má konstantní tuhost po celé délce pružiny. Tuhost je možno určit pomocí následujícího vzorce [5], který zároveň ukazuje, čím je možno ji ovlivnit :

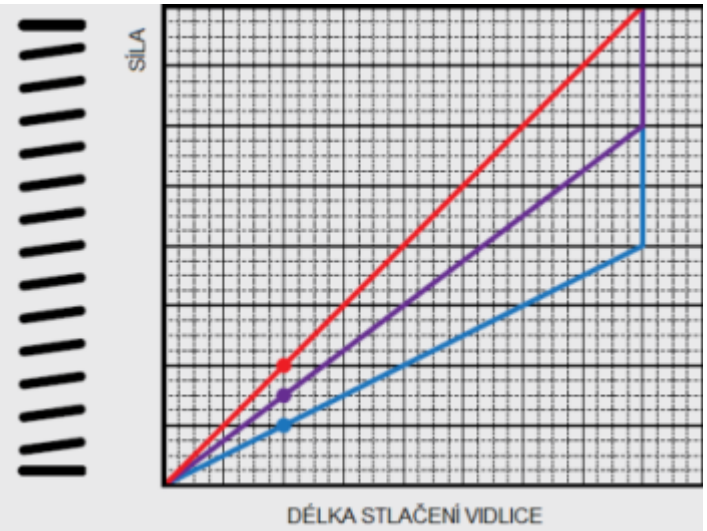
$$K = \frac{d^4 \cdot G}{8D^3 \cdot N} \tag{2}$$

d… průměr drátu pružiny [mm]

G… modul pružnosti ve smyku [MPa]

D… vnější průměr pružiny [mm]

N… počet závitů [-]

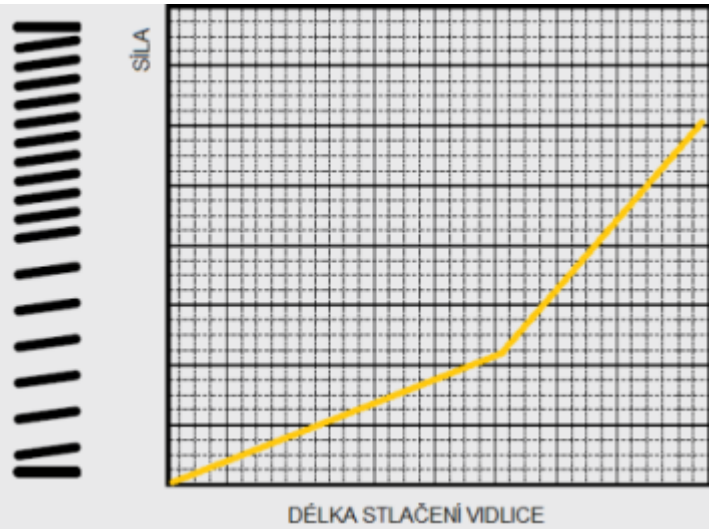


Obr. 3 Charakteristika lineární vinuté pružiny [3]

Tuhost lineární pružiny je směrnicí přímky její charakteristiky. Červená přímka patří pružině s nejvyšší tuhostí a modrá pružině s tuhostí nejnižší.

Progresivní vinuté pružiny

Tuhost progresivních pružin se mění v závislosti na délce stlačení. Většinou je této vlastnosti dosaženo použitím odlišného stoupání závitů pružiny. Menší stoupání znamená více závitů na jednotku délky a tím i menší tuhost. Změna tuhosti může být plynulá nebo stupňovitá.

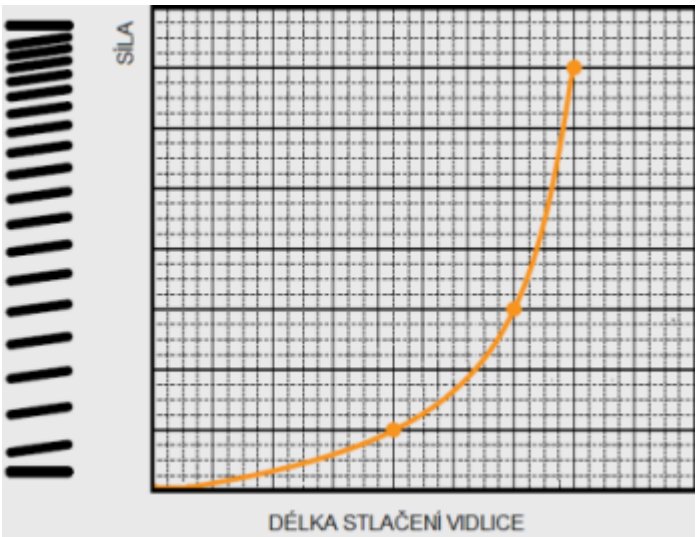


Obr. 4 Charakteristika dvoustupňové progresivní vinuté pružiny [3]

Výsledná tuhost dvou za sebe řazených pružin se určí dle následujícího vztahu:

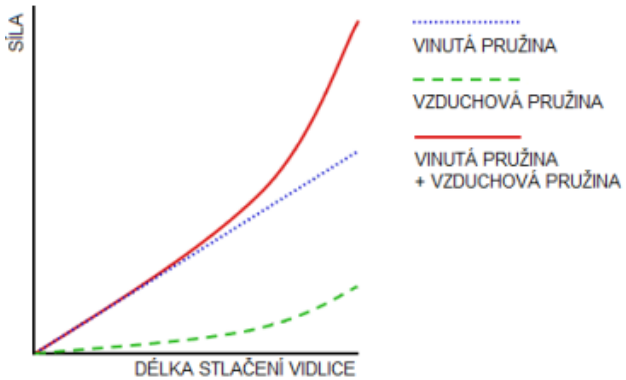
$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \tag{3}$$

V první části zdvihu působí pružina s tuhostí o velikosti celkové tuhosti vypočítané dle uvedeného vztahu. Když dojde k vyčepání deformace méně tuhé pružiny, křivka závislosti síly v pružině na stlačení vidlice začne stoupat podle směrnice druhé pružiny. Proto pro popis chování pružiny po celé délce zdvihu je nutné znát místo, ve kterém tato změna tuhosti nastává. Dnes se používají spíše progresivní pružiny s plynulou změnou tuhosti, u kterých je progresivity dosaženo buď plynule se měnícím stoupáním nebo plynule se měnící tloušťkou drátu. [1]



Obr. 5 Charakteristika plynule progresivní pružiny [3]

Ve vidlici s vinutou pružinou nevytváří odpor proti jejímu stlačení pouze vinutá pružina, ale také vzduch ve volném prostoru uvnitř vidlice, který tvoří vzduchovou pružinu. Při stlačení vidlice dojde ke zmenšení objemu volného prostoru vidlice a tím se ve vzduchu, který měl původně atmosférický tlak, vytvoří přetlak. Vznikne síla, která působí proti dalšímu stlačování a po odtížení tato síla vrátí vidlici do roztaženého stavu. Zespodu je volný objem vidlice ohraničen hladinou oleje. Změnou její výšky se změní objem volného prostoru a to zapříčiní změnu charakteristiky vzduchové pružiny. Výsledná tuhost pružiny je tedy dána součtem tuhostí vinuté a vzduchové pružiny. [1]



Obr. 6 Charakteristika vidlice s vinutou pružinou [9]

Jelikož vzduchová pružina má progresivní charakteristiku, je vhodné ve vidlici použít lineární vinutou pružinu, čímž bude dosaženo výsledné mírně progresivní charakteristiky, kterou je možno upravit změnou výšky hladiny oleje. [1]

1.2.2 PRUŽENÍ VIDLIC SE VZDUCHOVOU PRUŽINOU

O pružení ve vidlici se stará vzduchová pružina. Tu si je možné představit jako uzavřenou komoru vyplněnou plynem, u které je jedna stěna, někdy i více stěn, pohyblivá. U vzduchové vidlice nazýváme tuto pohyblivou stěnu píst. Ten umožňuje změnu objemu komory. [3] Pokud je plynu zmenšen objem prostoru, ve kterém se nachází, dojde ke zvýšení jeho tlaku, což vyplývá například ze stavové rovnice ideálního plynu:

$$p = \frac{m \cdot r \cdot T}{V} \tag{4}$$

p… tlak plynu [Pa]

m… hmotnost plynu [kg]

r… měrná plynová konstanta [J•kg•K^{-1}]

T… teplota [K]

V… objem plynu [m^3]

Pro zmenšení objemu a tím i zvýšení tlaku je nutno na píst působit silou F. Stejnou silou pak působí plyn na píst a způsobí, že při odstranění síly F se píst vrátí do původní polohy.

$$F = (p - p_a) \cdot S \tag{5}$$

$p - p_a$ … přetlak v komoře [Pa]

S… plocha pístu [m^2]

U vidlice je však důležitá spíše závislost mezi aktuální polohou l vidlice a silou F, kterou je nutno působit, aby tato poloha nastala. Pokud se uvažuje polytropické stlačení plynu ve vidlici, tak je pro tento děj možné napsat následující rovnice [14]:

$$p_{0V_0}{}^n = p_1 V_1{}^n = konst \tag{6}$$

$$p_1 = p_0 \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^n = p_0 \left(\frac{V_0}{V_0 - Sl}\right)^n \tag{7}$$

$$F = \left[\frac{p_0 V_0{}^n}{(V_0 - Sl)^n} - p_a\right] S \tag{8}$$

$$F = p_0 {V_0}^n S(V_0 - Sl)^{-n} - p_a S \tag{9}$$

p_0… počáteční tlak v komoře [Pa]

p_1… tlak po stlačení [Pa]

p_a… atmosférický tlak [Pa]

V_0… počáteční objem plynu [m^3]

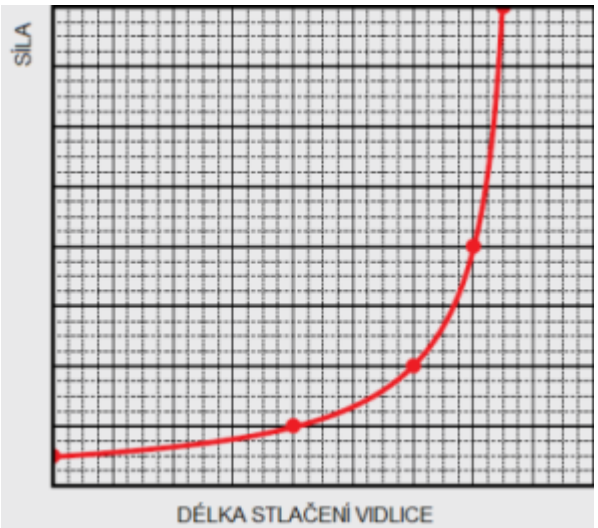
V_1… objem plynu po stlačení [m^3]

S… plocha pístu [m^2]

n… polytropický exponent [-]

l… délka stlačení vidlice [m]

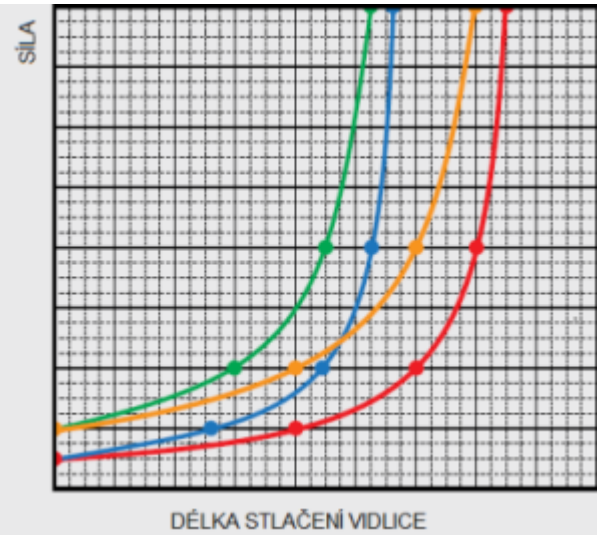
Po rozepsání je z poslední rovnice vidět, že se jedná o mocninnou závislost, která je pro plynovou pružinu typická a vyjadřuje její progresivní charakteristiku.



Obr. 7 Charakteristika vzduchové pružiny [3]

Z rovnice je dále možné snadno vyčíst parametry, kterými lze ovlivnit silové působení plynové pružiny.

Prvním parametrem je počáteční objem V_0. Posune-li se píst směrem ke zmenšení objemu komory o hodnotu l, dojde k nárůstu tlaku. Zmenší-li se počáteční objem komory při zachování počátečního tlaku, bude při posunu pístu o stejnou hodnotu l dosaženo většího nárůstu tlaku, tudíž se zvětší i síla působící na píst. Menší objem komory tedy vede k progresivnější charakteristice vzduchové pružiny. V grafu na obr. 8 znázorňují změnu počátečního objemu červená a modrá křivka, kde modrou je označena komora s menším počátečním objemem.



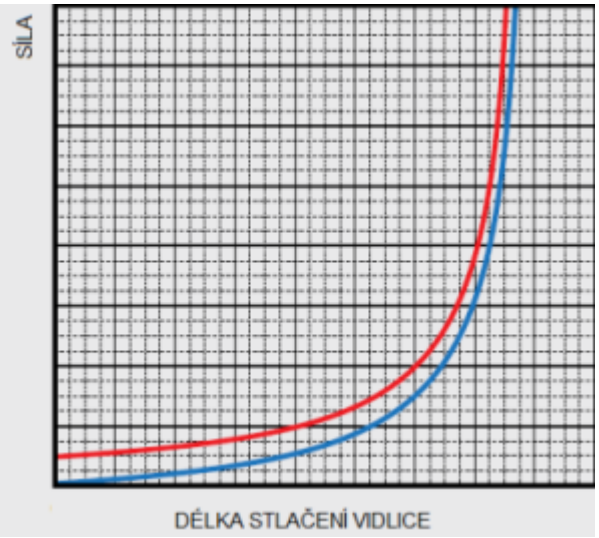
Obr. 8 Ukázka vlivu změny počátečního objemu a tlaku na tvar charakteristiky [3]

Dalším ovlivnitelným parametrem je počáteční tlak p_0. Pokud by byla vidlice naplněna vzduchem o atmosférickém tlaku, tak by i malá nerovnost znamenala vyčerpání velké části zdvihu. Proto je v komoře vidlice vytvořen počáteční přetlak. Přetlakem je však vytvořena počáteční síla, kterou je nutné před začátkem pohybu vidlice překonat. Efekt změny počátečního tlaku znázorňují v grafu na obr. 8 žlutá a zelená křivka. Žlutá ukazuje změnu charakteristiky pružiny s větším počátečním objemem (červené) a zelená změnu charakteristiky s menším počátečním objemem (modré).

Počátečním silovým působením by vzniknul problém také při prudkém odlehčení předního kola, kdy by došlo k rázu mezi pístem a dorazem v komoře. Proto se pozitivní plynová pružina používá v kombinaci s pružinou negativní. [3]

Negativní pružina je tlačná pružina, která je umístěná pod pístem a vyrovnává nežádoucí počáteční silové působení pozitivní pružiny na jeho horní plochu. Působením pozitivní pružiny dochází ke stlačování negativní pružiny a to až do doby, než se síla vyvozená v negativní pružině vyrovná síle pozitivní pružiny a síly se dostanou do rovnováhy. Efekt negativní pružiny je ukázán v grafu na obr. 9. Modrá charakteristika znázorňuje pouze pozitivní pružinu a červená, charakteristiku po přidání negativní pružiny. U vidlic motokrosových motocyklů je možné se setkat jak s negativními pružinami vinutými, tak pružinami plynovými. [14]

Ostatní parametry jako jsou plocha pístu S a exponent n se většinou nemění. Exponent n technické polytropy nabývá hodnot (1; κ), kde κ se mírně liší dle použitého plynu. Pro svou praktičnost se však pro plnění používá vzduch.

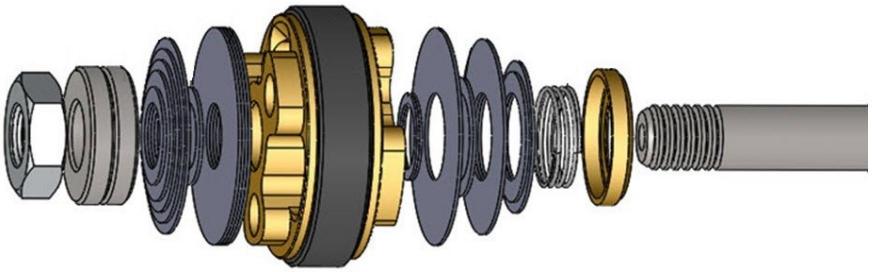


Obr. 9 Vliv negativní pružiny na tvar charakteristiky [3]

1.3 TLUMENÍ

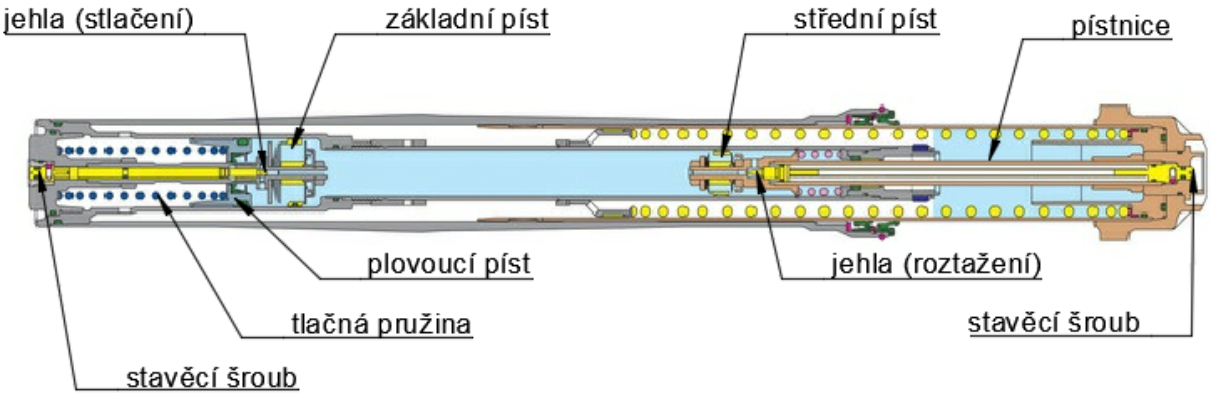
V dnešní době se u motokrosových motocyklů používají pouze kapalinové tlumiče. Tlumící funkce kapalinového tlumiče spočívá v odporu, který klade škrcený píst, proti průtoku viskózní kapaliny. Tento píst má v sobě několik oddělených kanálků. Část kanálků umožňuje průtok kapaliny z prostoru nad pístem do prostoru pod pístem a druhá část kanálků průtok opačným směrem. Při pohybu pístu, vzniklém například při přejezdu nerovnosti, dochází k průtoku viskózní kapaliny těmito kanálky. Při průtoku dochází k viskóznímu tření, které vytváří odpor proti pohybu pístu. Tento odpor je tlumící silou. Při konstantní průtočné ploše kanálků by docházelo k tomu, že při malých rychlostech pohybu pístu by tlumící síla nebyla dostatečná a naopak při vysokých by byla tak velká, že by znemožnila pohyb. Tlumící sílu je tedy potřeba regulovat. Z tohoto důvodu jsou kanálky těsněny planžetami, které tuto regulaci umožňují. V klidovém stavu jsou planžety přitisknuté k pístu tak, že úplně uzavřou kanálky. Při pohybu pístu například nahoru dojde k vytvoření přetlaku v objemu kapaliny nad pístem. Na planžetu na spodní straně pístu, která uzavírá kanálky umožňující průtok kapaliny z prostoru nad pístem do prostoru pod ním, nyní začne působit síla. Když je tato síla dostatečně velká, způsobí ohnutí planžety a umožní kapalině protéct pod píst. Se vzrůstající rychlostí pohybu pístu roste deformace planžet a zvětšuje se průtočná plocha kanálků. Výsledná tlumící síla je tvořena silou nutnou k překonání viskózního tření a silou nutnou k deformaci planžet.

Z energetického hlediska, tlumením dochází k přeměně mechanické energie na energii tepelnou, tento jev se nazývá disipace energie. Při použití tlumiče se sníží hodnota energie, která se uloží ve formě potenciální energie do pružiny. Část kinetické energie je totiž spotřebována tlumičem, ve kterém je přeměněna na teplo, jež je následně povrchem vidlice předáno do okolí. Tlumení tedy přímo ovlivňuje délku stlačení vidlice.



Obr. 10 Tlumící píst s planžetami [19]

1.3.1 TLUMÍCÍ PATRONA



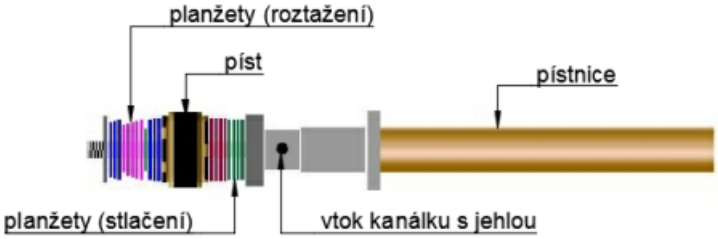
Obr. 11 Tlumící patrona [37]

Aktuálně se jako tlumící jednotky v motokrosových vidlicích nejčastěji používají uzavřené tlumící patrony. Mezi jejich lavní části patří pístnice s vnitřní jehlou a šroubem pro nastavení tlumení roztažení v nízkých rychlostech, střední tlumící píst, horní („základní“) tlumící píst, plovoucí píst s pružinou a horní pístnice s jehlou a šroubem pro nastavení tlumení ve stlačení v nízkých rychlostech.

Střední píst

Typ patrony se středním pístem byl poprvé použit u motokrosových motocyklů kvůli schopnosti vypořádat se i s vysokými rychlostmi stlačení vidlice, které byly dříve u tohoto typu motocyklu problém. Střední píst se skládá z vlastního pístu s oddělenými kanálky pro proudění oleje při stlačování a roztahování vidlice. Jejich zavírání je vyřešeno svazkem tenkých kruhových planžet se zmenšujícím se průměrem poskládaných tak, že tento svazek připomíná komolý kužel postavený podstavou na plochu pístu. Někdy se svazku planžet říká stromek. Zmenšující se průměry planžet se používají z toho důvodu, že takto složený svazek lépe odolává trvalé deformaci. První planžeta v řadě se deformuje, dokud se nedotkne druhé. Systém je navržen tak, že při pohybu pístu se kapalina v části patrony, ve které pohybem roste tlak, snaží dostat kanálkem na druhou stranu pístu. Pro umožnění průtoku kanálkem musí dojít k ohnutí planžety. Toto ohnutí by mělo proběhnout v pružné oblasti deformace materiálu. S rostoucí rychlostí roste počet ohnutých podložek a zvětšuje se tím průtočný profil kanálku. Pod planžetami, které se starají po tlumení stlačení vidlice, je umístěna pružina, která

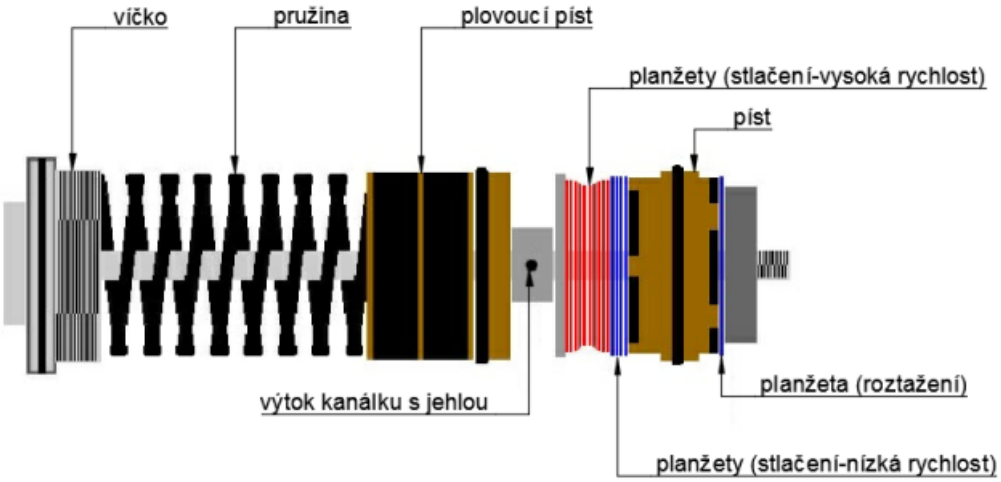
zajišťuje velmi rychlé částečné otevření kanálku, což tlumiči napomáhá vyrovnat se vysokými rychlostmi. Míru tlumení středního pístu lze nejjednodušeji ovlivnit změnou počtu a průměrů kanálků nebo změnou tuhosti svazku planžet. Se zvyšováním tlumení způsobeného středním pístem roste riziko vzniku kavitace. [1]



Obr. 12 Střední píst [13]

Základní píst

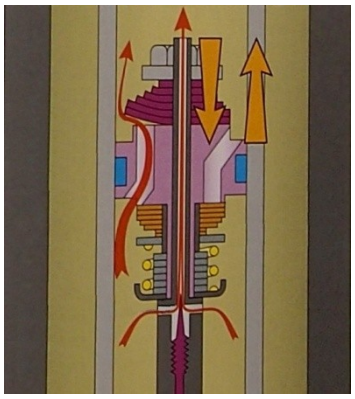
V horní části tlumicí patrony je základní píst. Ten se stejně jako střední píst skládá z vlastního pístu s kanálky a svazků planžet. Základní píst se podílí na tlumení ve stlačení. Při vsouvání pístnice středního pístu do tlumící komory dochází ke zmenšování základního objemu komory o objem, který zaujímá pístnice. V tlumící komoře se vytvoří tlak, který způsobí ohnutí planžet nad základním pístem a přebytečný olej je nucen proudit do prostoru mezi základním a plovoucím pístem. Při následném roztahování se olej vrací do základního prostoru tlumící patrony. Odpor proti tomuto zpětnému proudění je malý, kanálky pístu těsní většinou jen jedna planžeta. Tlumení při nízkých rychlostech stlačení vidlice vykonává převážně základní píst. Otevření kanálků středního pístu v rozsahu pružiny pod planžetami je totiž pro nízké rychlosti dostatečné a neklade oleji příliš odporu proti pohybu. Se vzrůstající rychlostí se začínají deformovat planžety středního pístu a roste jeho podíl na tlumení. [1]



Obr. 13 Základní píst [13]

Kanálky v pístnicích

V pístnici základního i středního pístu je kanálek, kterým může olej proudit z jedné strany pístu na druhou. Průtok tímto typem kanálku je umožněn pouze v jednom směru. V kanálku je umístěna jehla, již je možno zasunout či vysunout a tím změnit průtočnou plochu kanálku. Proudění těmito kanálky je důležité zejména pro nízké rychlosti. Olej nemusí při průtoku deformovat žádnou z planžet. Jediný odpor, který musí být překonán, je tření v tomto kanálku. Od určité rychlosti pohybu pístu olej přestane stíhat protékat kanálkem v pístnici. V části komory, ve které se pohybem pístu zmenšuje objem, začne narůstat tlak, deformuje se svazek planžet a olej začne protékat pístem. Kanálkem v pístnici však stále protéká maximální možné množství oleje. Takže změna průtočné plochy ovlivňuje tlumení i při vyšších rychlostech. Podíl proudění kanálkem však klesá. [1]



Obr. 14Proudění pístem [1]

Plovoucí píst

Při zasouvání pístnice do tlumící patrony dochází ke zmenšování objemu prostoru pod středním pístem o objem, který zaujímá pístnice. V systému dochází ke zvýšení tlaku a je snaha zvětšit jeho objem. Pro tuto situaci je horní část tlumící patrony uzavřena plovoucím pístem, který toto zvětšení objemu umožňuje.

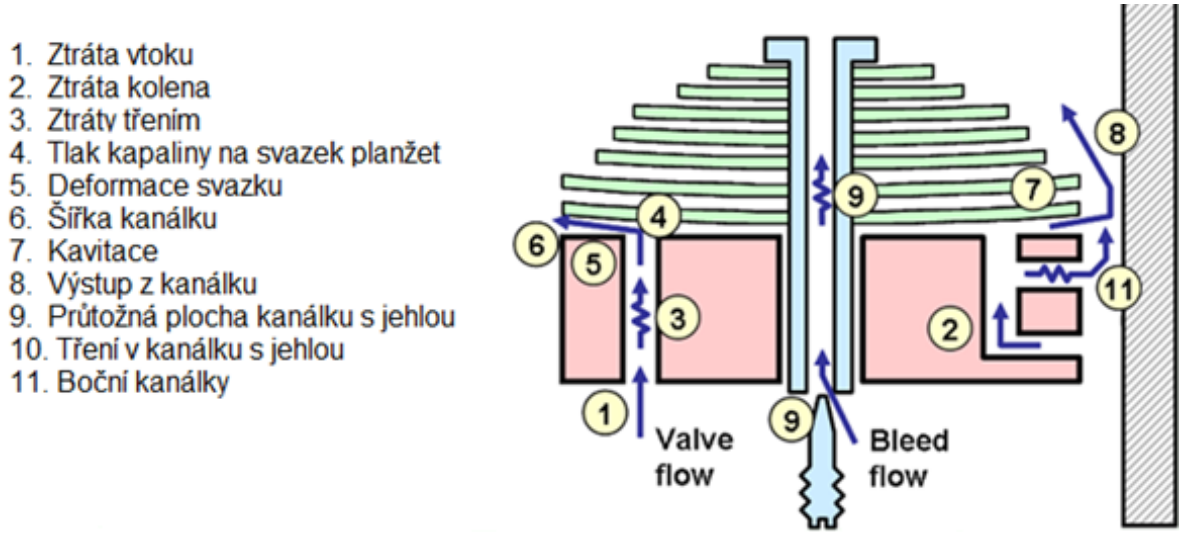
Pružina nad plovoucím pístem

Při vysokých rychlostech stlačení tlumiče je velké množství oleje tlačeno pod plovoucí píst. Pod střední píst se nedostane dostatečné množství oleje, klesá zde tlak a tím vzniká kavitace. Je tedy žádoucí, aby píst vytvářel protitlak, který by olej tlačil zpět a podpořil proudění oleje pod střední píst. Z tohoto důvodu se nad plovoucí píst dává tlačná pružina. Pokud tato pružina není schopna vyvodit dostatečnou sílu k tomu, aby dokázala vyplnit bublinky vzniklé kavitací při kompresním zdvihu, bude následující zdvih, tedy roztažení, probíhat s olejem obsahujícím bublinky. To bude mít za následek, že při roztahovaní vidlice se budou nejdříve zaplňovat bublinky a až poté bude olej nucen procházet přes střední píst, čímž dojde ke ztrátě tlumení. Kromě toho, při zastavení pohybu pístnice začnou bublinky praskat. Sací síla praskajících bublinek bude tahat olej přes střední píst a vznikne síla, která bude působit na pístnici a roztahovat vidlici.
Tuhostí pružiny se nastavuje délka zdvihu ovlivněná kavitací. Tužší pružina vytváří větší tlak v prostoru mezi základním a plovoucím pístem, rychleji plní bublinky vzniklé kavitací, takže

zkracuje délku zdvihu nutnou pro jejich úplné vyplnění. Tužší pružina také vytváří větší tlumící síly a tím zvyšuje odolnost proti doražení vidlice.
Když prasknou kavitační bublinky, dojde ke skokové změně toku z kavitačního na tok bez kavitace, což způsobí náhlou nežádoucí změnu tlumící síly. Místo, ve kterém tato změna nastane a její účinek lze nastavit tuhostí pružiny a vlastnostmi pístů. Zvětšení odporu proti proudění středním pístem, zmenšení odporu proudění základním pístem a nižší tuhost pružiny nad plovoucím pístem zvětšují velikost bublinek vytvořených kavitací. Větší bublinky znamenají větší skok v tlumící síle a také větší potřebný zdvih pro jejich uzavření. [4]

1.3.2 PROUDĚNÍ PÍSTY

Tlumící sílu vytvořenou písty neovlivňuje jen velikost kanálků a tuhost planžetového svazku. Existuje několik dalších parametrů, kterými ji lze ovlivnit. Změnou těchto parametrů lze nastavit tlakové ztráty, které vznikají při protékání oleje a tím změnit nastavení tlumiče. Ladění vlastností tlumiče je proces, při kterém je určena geometrie každé z těchto částí tak, aby byly řízeny ztráty při toku oleje v celém rozsahu rychlostí tlumiče a bylo zajištěno co nejdokonalejší tlumení. [4]



Obr. 5 Ztráty při proudění pístem [4]

Ztráta vtoku

Tvar vstupního otvoru do kanálku je kritickým parametrem ovlivňujícím ztráty toku. Existují dva typy vstupních kanálků. Buď jsou to vyvrtané otvory do boku pístu nebo oválné drážky mezi krajem pístu a svazkem planžet. [4]

Ztráta kolena

Dalším typem ztrát je odpor způsobený zakřivením kanálků, dle terminologie hydrauliky ztráta kolena. Olej je nucen měnit směr toku a při vyšších rychlostech dochází k jeho rozdělení. Tyto odpory lze redukovat zvětšením vstupního otvoru do kanálku nebo zvětšením poloměru jeho zakřivení.

Ztráty třením

Nezanedbatelné jsou také ztráty třením při průchodu kanálkem. Nejprve se určí Reynoldsovo číslo z kinematické viskozity oleje, jeho rychlosti v kanálku a průměru kanálku. To nám řekne, jestli se jedná o laminární nebo turbulentní proudění. Pokud je znám typ proudění, je možné vypočítat součinitel tření a následně ztráty třením.

Tlak kapaliny na svazek planžet

Proud oleje vycházející z kanálku způsobí ohnutí svazku a vytvoří úzkou štěrbinu. Zastavení proudu v místě nárazu do svazku vytvoří hraniční vrstvu, která způsobí zvýšení tření na stěně svazku. Síly vzniklé nárazem jsou funkcí rychlosti proudu, proto se používají poměrně velké kanálky, ve kterých je menší rychlost a efekt je tak značně potlačen. [4]

Deformace svazku

Zvednutí svazku planžet je uskutečněno kombinací statického tlaku a sil vzniklých nárazem proudu kapaliny. V nízkých rychlostech ohýbá svazek převážně statický tlak, ale se zvyšující se rychlostí progresivně roste významnost sil z nárazu. Proto je velmi důležité spolehlivě vypočítat velikost narážejících sil a určit jejich vliv na ohnutí svazku. [4]

Šířka kanálku

Rozměr kanálku, tedy jeho šířka a radiální hloubka, ovlivňuje jeho průtočný profil a také plochu, která působí na podložkový svazek. [4]

Kavitace

Pro kontrolu kavitace je nutné hlídat, aby byl tlak oleje ve všech stavech tlumiče vyšší, než tlak, při kterém dojde k jeho vypařování, což je vcelku jednoduchá podmínka. Změna tlaku je však závislá na mnoha parametrech, které dělají určení limitů kavitace obtížným. [4]

Výstup z kanálku

Poté co proud oleje projde kanálkem v pístu, udělá si prostor ohybem podložkového svazku a změní směr toku. Poté musí ješte jednou zatočit, aby prošel mezerou mezi svazkem a stěnou patrony. Velikost této ztráty závisí na velikosti této mezery, tudíž velikosti největší podložky svazku. [4]

Průtočná plocha kanálku s jehlou

Dále je možné nastavit velikost průtoku kanálkem s jehlou. Nastavení probíhá změnou průtočné plochy zasouváním kuželové jehly do kanálku pomocí klikacího nastavovacího šroubu. Tvar skutečné jehly může být různě zakřiven, což se odrazí na tvaru křivky závislosti průtočné plochy na počtu kliků na stavěcím šroubu. Změna nastavení o určitý počet kliků tedy nemusí mít v celém rozmezí nastavení stejný efekt. [4]

Tření v kanálku s jehlou

I průtok tímto kanálkem je zatížen velkým množstvím ztrát. Se zvyšující se tuhostí podložkového svazku roste podíl proudu procházejícího kanálkem s jehlou, tím roste jeho

rychlost a zvyšují se jeho celkové ztráty. K prvním dílčím ztrátám dochází při vstupu proudu do úzkého prostoru mezi jehlou a stěnou kanálku. Další vznikají třením při průchodu kanálkem v oblasti jehly. [4]

Boční kanálky

Některé písty používají boční kanálky o průměru 1 až 2 mm pro řízení tlumení v nízkých rychlostech. Pokud se tlumič pohybuje nízkou rychlostí, jsou nízké i rychlosti v kanálku. Olej je tak schopen zatočit do pravoúhlého kanálku a projít jím do prostoru nad pístem, aniž by musel deformovat podložkový svazek. Při velkých rychlostech už zahnout nedokáže, čímž se průtok bočním kanálkem sníží. Množství protékajícího oleje je také zavislé na tuhosti podložkového svazku. Čím je podložkový svazek tužší, tím větší tlak se v kanálku vytvoří a tím víc oleje projde bočním otvorem v kanálku. [4]

1.3.3 TLUMENÍ ROZTAŽENÍ

Tento typ tlumení vzniká, když pružina uvolňuje uloženou energii a tlačí pístnici ven z komory. Změna nastavení tlumení v roztažení ovlivňuje trakci. Málo tlumení v roztažení znamená rychlý nekontrolovaný návrat vidlice do roztaženého stavu, který může způsobit rozkmitání kola. Málo tlumené kmitání způsobuje ztrátu trakce a vede k pocitu nejistoty. Pokud dochází k příliš velkému tlumení, vidlice se roztahuje pomalu a například při sérii za sebou navazujících nerovností dochází k postupnému potápění vidlice, což má stejný efekt, jako kdyby vidlice do každého následujícího hrbolu narážela s o něco předepnutější pružinou. Využívá se malá výška zdvihu. Vidlice koná menší pohyb kvůli stále vyšší síle potřebné k iniciaci pohybu a tím dochází ke snížení trakce. Velké tlumení způsobuje problém také při překonávání výmolů, kdy se kolo nestihne včas pohnout tak, aby udrželo kontakt s povrchem. Při určování vhodné míry tlumení je snahou najít kompromis mezi maximální trakcí a maximálním pocitem kontroly z pohledu jezdce, což je subjektivní parametr. [1]

1.3.4 TLUMENÍ STLAČENÍ

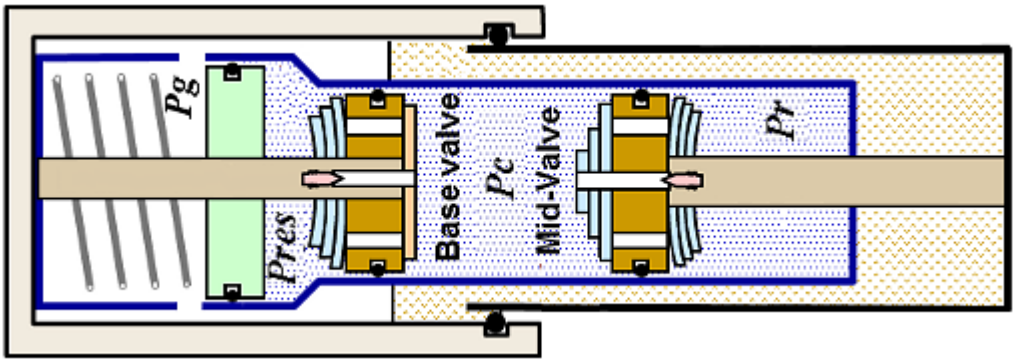
Tlumení při stlačování vidlice je o něco málo složitější, než tlumení roztažení. Hlavní rozdíl je v rychlostech, kterými je působeno na tlumič. Při roztažení se tlumí pouze energie uvolněná z pružiny. Rychlost se mění v závislosti na míře stlačení pružiny, takže se pracuje s relativně malým intervalem. Při tlumení stlačení je ale nutné se vypořádát s velkým rozptylem rychlostí závislých na tvarech a velikostech nerovností a také na rychlosti, ve které na ně motocykl najede. Obecně, nerovnosti s ostrou hranou znamenají vysoké rychlosti, naopak zaoblené rychlosti nižší. Vysoké rychlosti pohybu v důsledku zvýšení kinetické energie neodpružených hmot způsobují větší silové působení na pružinu, jehož následkem může dojít ke stlačení vidlice až na dorazy. Tlumení ve stlačení zvyšuje odolnost proti doražení vidlice odporem, který klade viskózní olej při průchodu písty. Při zvyšující se rychlosti roste tlumící síla. Zvýšením tlumení není možné řešit problém s dorážením, které nastává při nízkých rychlostech a je zapříčiněno nízkou tuhostí pružiny. Značný je opět vliv tohoto typu tlumení na trakci. Při přejezdu hrbolu dochází k postupnému stlačování vidlice, neodpružené hmoty nabírají rychlost, což se při extrémně malém tlumení projeví stlačováním vidlice i za vrcholem hrbolu. To způsobí odlepení kola od povrchu a ztrátu trakce. Opačný extrém, příliš velké tlumení, způsobí velký odpor proti stlačení, deformuje se pouze pneumatika a celá odpružená hmota motocyklu je vymrštěna nahoru. V sérii na sebe navazujících hrbolů bude velké tlumení znamenat postupné napumpování vidlice až k úplnému roztažení. [1]

1.3.5 KAVITACE

Kavitace je nepříznivý jev, který tlumiči nastává při vysokých rychlostech stlačení či roztažení. Je to složitý jev vzniku a zániku dutin v proudící kapalině. Podstatou samotného vzniku kavitace je snížení tlaku na tlak nasycených par při odpovídající teplotě kapaliny. Při těchto podmínkách se začne kapalina odpařovat a začnou se v ní tvořit velmi malé bublinky. Tyto bublinky jsou unášeny proudící kapalinou do míst vyššího tlaku, kde pára obsažená v bublinkách kondenzuje a vytváří se kavitační dutiny. [2]

Kavitace vznikne většinou při tlumení stlačení, protože právě zde mohou vznikat veliké rychlosti. Tlumení stlačení je kombinací vzájemného působení středního a základního pístu, které rozdělují proces do tří oddělených rychlostních oblastí. V první, nízkorychlostní oblasti, je tlumení řízeno tuhostí svazku planžet základního pístu a polohou jehly v kanálku jeho pístnice. V závislosti na tuhosti svazku planžet středního pístu je pak určena rychlost, kdy tlumení přechází do oblasti středněrychlostního tlumení. Zde je tlumení řízeno základním i středním pístem. Motokrosové motocykly mívají tužší nastavení středního pístu kvůli vyšší odolnosti proti dorážení vidlice. Pokud je tuhost svazku planžet středního pístu příliš velká, může při dalším zvýšení rychlosti dojít v prostoru pod pístem ke kavitaci. Ta zapříčiní zvýšení tlumení stlačení, ale také následnou ztrátu tlumení roztahování vlivem praskání bublinek vzniklých kavitací. Při vysokých rychlostech nezvládne dostatečné množství oleje projít přes střední píst tak, aby prostor pod pístem zůstal celý vyplněn olejem. Přebytečný olej v prostoru nad pístem je protlačen přes základní píst, zvedá plovoucí píst a stlačuje tlačnou pružinu umístěnou nad ním. [4]

Pro návrh tlumení je nutné určit limitní nastavení, při kterém ještě nebude docházet ke kavitaci. [4]



Obr. 6 Tlumící patrona [4]

$$x = \frac{V_{res} - V_{res0}}{A_{pl}} \tag{10}$$

$$P_{res} = P_0 + \frac{k \cdot x}{A_{pl}} \tag{11}$$

$$P_c = P_{res} + \Delta P_{bv} \tag{12}$$

$$P_r = P_c - \Delta P_{mv} \tag{13}$$

Délka stlačení x pružiny nad plovoucím pístem je dána rozdílem objemů prostoru mezi základním a plovoucím pístem v počátečním a koncovém stavu, poděleným plochou plovoucího pístu. Tlak prostoru mezi základním a plovoucím pístem se pak vypočítá jako součet počátečního tlaku a tlaku vyvozeného deformací pružiny o tuhosti k.
Tlak prostoru nad středním pístem je dán součtem tlaku prostoru mezi základním a plovoucím pístem a změny tlaku způsobené základním pístem. A konečně tlak v prostoru pod pístem, který je důležitý, se získá odečtením změny tlaku způsobené středním pístem od tlaku nad středním pístem. Aby nedošlo ke kavitaci, tlak pod pístem musí být vyšší než tlak, při kterém nenastává vypařování oleje.
Síla působící na pístnici je úměrná rozdílu tlaků prostoru nad pístem a pod pístem. Tlak v prostoru nad pístem je řízen základním pístem a tlakem, který vytváří plovoucí píst tlačený pružinou. Tlak v prostoru pod pístem je dán poklesem tlaku způsobeným pohybem středního pístu. Rozdíl tlaků nad a pod pístem tvoří tlumící sílu. [4]

1.3.6 KAPALINA V TLUMIČI

Jako tlumící médium se v tlumičích používá tlumičový olej, který lze považovat za téměř nestlačitelný. Jeho nejdůležitější charakteristikou je viskozita. Čím větší viskozitu olej má, tím vykazuje větší odpor proti proudění. Je však třeba pamatovat na to, že viskozita se mění v závislosti na teplotě oleje. Závislost viskozity oleje na teplotě vyjadřuje index viskozity. Vyšší hodnota indexu znamená menší závislost na teplotě. Index viskozity se určuje podle předepsané metodiky z výsledků měření kinematické viskozity. Měření se provádí při teplotách 40 °C a 100 °C a následně jsou oleje zařazeny do viskozitních tříd. Výsledek při 40 °C je doplněn indexem W z anglického slova winter. Například hodnota 10W30 říká, že olej při 40 °C spadá do viskózní třídy 10 a při 100 °C do třídy 30. Pro zvýšení indexu viskozity se do olejů přidávají modifikátory, které ovlivňují vlastnosti oleje při vyšších teplotách. Jsou to polymerní látky, které si lze představit jako provázky, které jsou při nízkých teplotách svinuté do spirály a se zvyšující se teplotou se rozplétají a zaplétají do sebe a tvoří mřížkovou nebo síťovou strukturu. Provozem však dochází k jejich střihovému namáhaní a následně k trhání na menší molekuly. Dochází k degradaci oleje, proto je nutné jej v pravidelných intervalech měnit. [1, 20, 21]

1.4 TŘENÍ

Smyslem tlumiče je vytvořit v systému odpružení kontrolované viskózní tření. Ve vidlici však vznikají i jiné druhy tření, statické a dynamické. Statické tření je pro funkci vidlice velmi nepříznivé, protože je nutné ho překonat před každým začátkem pohybu vidlice.

Nepříznivý efekt tření ve vidlici je možno jednoduše prakticky vyzkoušet. Motocykl se sejme ze stojanu a tlumiče se nechají mírně klesnout vlastní tíhou motocyklu. Pak se vidlice se zmáčknutou přední brzdou stlačí např. o 25mm a nechá pomalu roztahovat. Po ukončení pohybu se změří výška vidlice. Poté se postup opakuje s tím rozdílem, že se vidlice roztáhne a nechá pomalu tíhou motocyklu poklesnout. Rozdíl v naměřených výškách je způsoben třením. [1]

1.4.1 STATICKÉ TŘENÍ

Statická třecí síla je síla, která působí odpor proti vzájemnému pohybu. Je závislá na součiniteli tření μ daným teplotou, materiálem a dokončovací operací na jeho povrchu. Mimo to je také závislá na normálové síle F_N.

$$F_T = \mu \cdot F_N \tag{14}$$

Tření je teoreticky nezávislé na kontaktní ploše. Z praxe je však známo, že třecí síla, kterou lze vytvořit například mezi pneumatikou a vozovkou, na třecí ploše závislá je. Pokud by se oba povrchy zvětšily, bylo by vidět, že jsou tvořeny malými vrcholky. Přiložením těles k sobě se tyto vrcholky do sebe zaklíní a tím je vytvořena překážka bránící jejich vzájemnému posouvání. Z toho je zřejmé, že větší kontaktní plocha bude znamenat více zaklíněných vrcholků a tím větší možný odpor. Míra zaklínění je však závislá na normálové síle. Zvyšováním normálové síly roste vzájemné zakliňování, ale jen do okamžiku, kdy jsou všechny nerovnosti povrchu vozovky vyplněny pryží pneumatiky. Další zvyšování normálové síly již třecí sílu neovlivní.

Třecí síla nevznikne, dokud není působeno boční silou ve směru posuvu. Těleso se začne pohybovat až při působení síly o takové velikosti, která je větší než maximální možná hodnota statické třecí síly. [1]

1.4.2 DYNAMICKÉ TŘENÍ

Pokud je překonána maximální hodnota statické třecí síly a vidlice se začne pohybovat translačním pohybem, můžeme tento pohyb nazvat smýkáním. Minimální velikost síly, kterou je možno tento smýkavý pohyb udržovat je menší, než minimální síla nutná k inicializaci pohybu. Počáteční síla je vyšší, protože musí být překonána setrvačná síla. Ve výpočtu se tato skutečnost zahrne zvětšeným součinitelem tření. To je důvod, proč při snaze stlačit vidlici je nutné nejdříve působit velkou silou a pak na udržení pohybu stačí působit silou pocitově znatelně menší. [7]

Ve skutečném případě pohybu vidlice dojde při nárazu kola do nerovnosti ke vzniku síly, která směřuje od místa doteku kola s nerovností do středu náboje kola. Tuto sílu je možné rozložit na dvě složky, kde jedna složka působí ve směru osy nohy vidlice a způsobuje její stlačení a druhá k ní kolmá vytváří nepříznivé namáhání vidlice ohybem. Při ohybovém namáhání vidlice se zvyšuje normálová síla mezi pohyblivými a těsnícími či vodícími elementy a tím narůstá i třecí síla. Největší ohybový moment působí těsně pod brýlemi. Při ohnutí nohy vidlice dochází v tomto místě k nadměrnému opotřebovávání třecích ploch a to zejména vnitřního povrchu vnější trubky. Při servisním zásahu je vhodné stav tohoto povrchu zkontrolovat. [1]

Kvůli minimalizaci tření a zvýšení odolnosti proti opotřebení jsou ocelová kluzná pouzdra ve vidlici opatřena bronzovým a následně i teflonovým povlakem.

1.4.3 VISKÓZNÍ TŘENÍ

Při proudění kapaliny se její částice nepohybují stejnou rychlostí. Proud je možné rozložit na souosé vrstvy, kde vrstva v části u kraje kanálku má výrazně nižší rychlost než vrstva uprostřed. Pomalejší vrstva se snaží rychlejší vrstvu brzdit, což se projevuje jako viskózní tření. Viskózní tření je závislé na rychlosti. Při nulové rychlosti je rovno nule a se vzrůstající rychlostí narůstá. Síla, kterou je nutno působit pro překonání viskózního tření, je dána kontaktní plochou vrstev A, jejich vzdáleností dx a rozdílem rychlostí dv. [6]

$$F = \eta \cdot A \cdot \frac{dv}{dx} \tag{15}$$

η… dynamická viskozita [$Pa \cdot s^{-1}$]

A… konstaktní plocha vrstev [m^2]

dv/dx… gradient rychlosti [s^{-1}]

1.5 MOŽNOSTI NASTAVENÍ

Běžný uživatel se nebude pouštět do větších zásahů a převážně využije rozsah nastavení povolený výrobcem.

1.5.1 PŘEDPĚTÍ PRUŽINY

Předpětím se nastavuje pokles vidlice při zatížení tíhou motocyklu a jezdce. Předpětím se zkrátí volná délka pružiny, na což pružina reaguje vyvozením síly. Tím dojde k posunu počátku v charakteristice pružiny. Při stejné délce stlačení jako u nepředepjaté pružiny je dosaženo vyšší síly, ovšem počáteční síla, kterou bude nutno působit na vidlici, aby se začala pohybovat, bude také vyšší. Při přehnaném předpětí bude motocykl při přejezdu série hrbolů pouze poskakovat po jejich vrcholcích, čímž se sníží trakce. U vidlic s vinutou pružinou je možnost nastavení předpětí spíše výjimkou, kvůli problému s umístěním stavěcího mechanismu. Výjimkou jsou vidlice s oddělenou funkcí, kde se jedna noha stará pouze o pružení a tak není problém umístit stavěcí šroub do horního víčka. Vidlice se vzduchovým pružením mají u jednotlivých komor ventilky, takže nastavení potřebného předpětí není problém a zabere pouze chvilku práce s hustilkou. [1]

1.5.2 TLUMENÍ VE STLAČENÍ

Stavěcí šroub bývá standardně umístěn v horním víčku. Je k dispozici asi dvacet poloh nastavení. Každá změna polohy je doprovázena slyšitelným cvaknutím. Hodnotu nastavení udává počet cvaknutí od plně zašroubované polohy. Při otáčení šroubem ve směru hodinových ručiček dochází k zasouvání stavěcí jehly do kanálku a tím zmenšení jeho průtočného profilu. Tím je ovlivněna tlumící síla zejména v malých rychlostech. Se zvyšující se rychlostí pohybu tlumiče klesá podíl oleje, který proudí tímto kanálkem a tím i vliv jeho škrcení na výslednou tlumící sílu.

1.5.3 TLUMENÍ V ROZTAŽENÍ

Stavěcí šroub se nachází ve spodním víčku, někdy je zakrytý plastovou krytkou. Způsob nastavení je shodný se šroubem pro nastavení tlumení ve stlačení, pouze s tím rozdílem, že ovlivňuje tlumící sílu při roztažení.

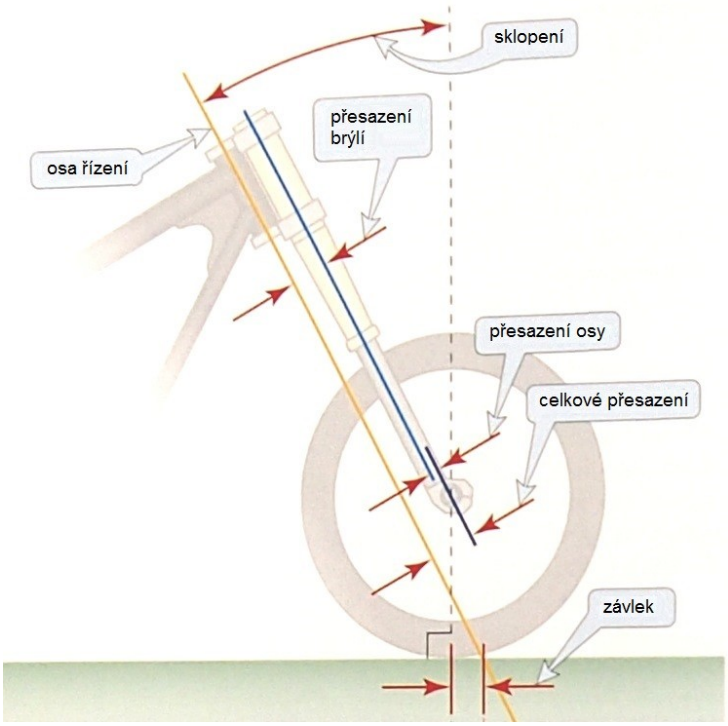
1.5.4 ZÁVLEK

Konstrukční řešení vidlice umožňuje malou změnu závleku posunem noh vidlice v brýlích. Vysunutím noh vidlice v brýlích nahoru se zmenší úhel osy řízení a tím i závlek. Další malou změnu závleku provede změna pneumatiky. Průměry pneumatik stejných rozměrů různých výrobců se liší. Pokud je potřebná větší změna, musí být vyměněny brýle.

Závlek je jeden z parametrů, který má velký vliv na vlastnosti motocyklu. Hodnota závleku je závislá na poloměru kola, sklonu osy řízení a přesazení. Je možné ho definovat jako vodorovnou vzdálenost od bodu dotyku pneumatiky s povrchem k průsečíku osy řízení s povrchem. Vliv závleku je velmi dobře vidět na kolečku nákupního vozíku. Jedná se o speciální případ se svislou osou řízení, takže přesazení je zde přímo hodnota závleku. Při nakupování v supermarketech je možné si všimnout, že i když jsou kolečka původně různě otočená, tak při rozjetí vozíku se samy narovnají a pokračují ve stabilizované poloze ve směru pohybu. Stabilizaci způsobuje moment, který vznikne při sebemenším vychýlení kolečka. [1]

Při stlačování vidlice či zadního tlumiče dochází ke změně sklonu osy řízení a tím i závleku. Je stanoveno, že u motocyklu se závlek měří s plně roztaženými tlumiči. Až na malé výjimky bývá osa řízení sklopená o určitý úhel. Tím je dosaženo závleku i při nulové hodnotě přesazení. Větší sklopení znamená větší závlek. Úhel sklopení je úhel, který svírá osa řízení se svislou osou. Obvykle se tento úhel pohybuje mezi 23 až 28 stupni. Při nulové hodnotě přesazení by tento sklon způsobil příliš velký závlek, což by za jízdy znamenalo zvětšení síly potřebné pro zatočení. Proto se používá přesazení brýlí vidlice, které závlek redukuje. Mimo to je také mírně přesazené uložení osy kola. Velkou změnu závleku lze způsobit i změnou poloměru kola a to hned ze dvou důvodů. Zmenšením poloměru kola se sníží výška osy kola, tím se sníží sklon osy řízení a v návaznosti na to i závlek. I pokud by se sklon osy řízení při zmenšení kola podařilo nějakým způsobem zachovat, tím, že závlek je vodorovná vzdálenost na povrchu a zmenšením poloměru kola se sníží vzdálenost povrchu od osy kola, dojde podle pravidla podobnosti trojúhelníků i ke zmenšení závleku. Na to je nutné pamatovat při přestavbě motokrosového motocyklu na motocykl typu supermoto, kdy se mění přední jednadvacetipalcové kolo za sedmnáctipalcové. [1]

Někdy se pro vyjádření závleku používá skutečný závlek, což je vzdálenost bodu doteku kola s povrchem od osy řízení, měřená kolmo k ose řízení. Tato vzdálenost udává délku ramene, na kterém působí síla vytvářející stabilizační moment. [1]



Obr. 17 Závlek [1]

1.5.5 OLEJ

Významný vliv na vlastnosti vidlice má i olej, kterým lze ovlivňovat pružení i tlumení. Zvýšeným množstvím oleje se zmenší objem prostoru vidlice vyplněného vzduchem, což bude mít za následek zvýšení progresivity vzduchové pružiny, tvořené stlačováním vzduchu v tomto prostoru. Změnu tlumení lze nastavit změnou viskozity oleje. Viskóznější olej tvoří větší odpor proti průchodu kanálky a tím vytváří větší tlumící sílu a to v celém rozsahu rychlostí při tlumení stlačení i roztažení. Nesmí se zapomenout, že olej postupně svou viskozitu ztrácí, proto je nutné jej v doporučených intervalech měnit.

2 SOUČASNĚ DOSTUPNÉ ODPRUŽENÉ VIDLICE

Za celou historii motokrosového sportu bylo použito nesčetné množství nejrůznějších konstrukcí předního odpružení. Vývoj neustále pokračuje a zkouší se nová vylepšení. Někteří výrobci zůstávají u osvědčených konstrukcí, jiní naopak prosazují nové.

Pro porovnání byly vybrány vidlice čtyřtaktních motokrosových motocyklů o objemu 250 a 450 ccm představených v letech 2016 a 2017.

Tab. 1 Vidlice 2016 a 2017

2017			2016	
	450	250	450	250
honda	SHOWA 49mm spring	SHOWA SFF TAC internal	KYB PSF-2 pneumatic spring fork	SHOWA SFF TAC internal
yamaha	KYB SSS	KYB SSS	KYB SSS	KYB SSS
suzuki	SHOWA SFF TAC	KYB PSF-2	SHOWA SFF TAC	KYB PSF-2
kawasaki	SHOWA SFF TAC	SHOWA SFF coil spring	SHOWA SFF TAC	SHOWA SFF coil spring
ktm	WP AER 48 air	WP AER 48 air	WP 4CS / AER 48 air	WP 4CS / AER 48 air
husqvarna	WP AER 48 air	WP AER 48 air	WP 4CS / AER 48 air	WP 4CS / AER 48 air

2.1 SHOWA

2.1.1 HISTORIE

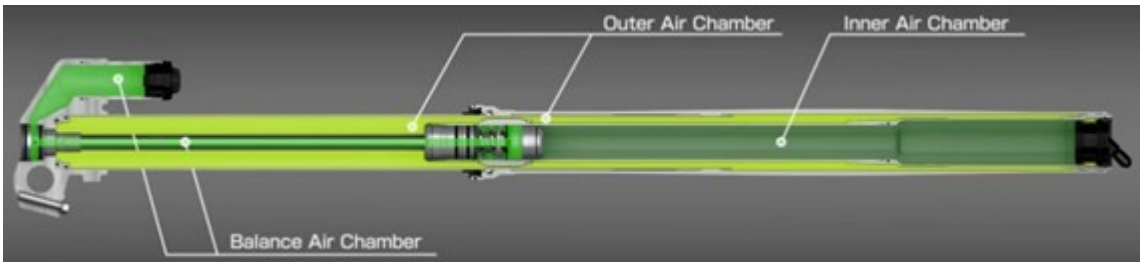
Společnost vznikla v roce 1938 pod názvem Showa Aircraft Precision Works a jak již tento název napovídá, zabývala se původně výrobou dílů do letadel a to zejména odpružení a přistávacím systémům. Po válce v roce 1946 vstoupila do automobilového průmyslu a následně v roce 1953 začala s výrobou tlumičů. Již od počátku pro ni byla významná spolupráce se společností Honda, která je nyní jejím částečným vlastníkem. [22]

2.1.2 SFF TAC

Označení SSF vzniklo z anglického Separate Function Fork tedy vidlice s oddělenými funkcemi. To v praxi znamená, že jedna noha vidlice se stará o tlumení a druhá o pružení. TAC je zkratkou pro Tripple Air Chamber, takže se jedná o vidlici se vzduchovou pružinou, která obsahuje tři oddělené vzduchové komory. Vidlici lze snadno identifikovat podle vyrovnávací komory, která je umístěná vně nohy. Vidlici používá Suzuki a Kawasaki. Konstrukčně jsou vidlice pro oba výrobce stejné, doporučené nastavení se však liší. [23]

Pružení

Vzduchová pružina je v této vidlici umístěná v pravé noze. Pružící systém se skládá z vnitřní, vnější a vyrovnávací komory.



Obr. 18 Pružící noha SFF TAC [38]

Vnitřní komora zastupuje funkci primární pružiny, změnou tlaku vzduchu v ní dosahujeme stejného efektu, jako kdybychom měnili předpětí vinuté pružiny. Výrobcem doporučený tlak v této komoře je 1050 kPa, ale je možné vytvořit přetlak až 1400 kPa.

Vnější komora je nízkotlaká s maximálním tlakem 135 kPa. Tato komora je těsněna guferem mezi vnější a vnitřní nohou, které je vystaveno vnějším podmínkám, jejichž působení zvyšuje pravděpodobnost selhání. Pokud se tak stane, nevzniká zase tak velký problém, jelikož hlavní množství vzduchu je ve vnitřní komoře, dojde tedy pouze k mírné změně chování.

Balanční komora plní funkcí negativní pružiny. Vzduchová negativní pružina je výhodná zejména kvůli možnosti snadného přizpůsobení se změně nastavení pozitivní pružiny. Její tlak se může pohybovat až na hranici 1500 kPa. [23]

Z hodnot maximálních tlaků ve vnitřní a vyrovnávací komoře je patné, že budou kladeny vysoké požadavky na těsnění pístu, který tyto komory odděluje. V pružící noze jsou celkem

tři pohyblivá těsnění, dvě na pístu a jedno na konci komory, které těsní pístnici. Na tyto těsnění působí vysoké tlaky a ty vyvolávají na poměry vidlice obrovské tření. Těsnění navíc nejsou dostatečně mazána, což tření ještě zvyšuje. Vliv tohoto tření je opravdu znatelný, zejména při porovnání s vidlicí s vinutou pružinou, kde v pružící jednotce tolik tření nevzniká. Problémy vznikají zejména při malých rychlostech, kdy se vidlice špatně vypořádává s nerovnostmi. Nastavení tlumení v nízkých rychlostech se stává neefektivní. Dochází k přebytečnému vyčerpávání jezdce a také ke snížení požitku z jízdy.

Obr. 19 Píst vzduchové pružiny SFF TAC[34]

Této velmi výrazné negativní vlastnosti si všimli výrobci těsnění a začali nabízet opravné sady těsnění, které by měly efekt tření zmírnit.

Tlumení

V tlumící noze je umístěná tlumící patrona, která je má oproti standardní patroně, používané u vidlic s tlumením v obou nohách popsané v části teorie věnované tlumení, zesílené jednotlivé prvky, tak aby dokázala vyvodit dvojnásobně velké tlumící síly.

Obr. 20 Tlumící noha SFF TAC [38]

Možnost nastavení

Předpětí hlavní pružiny je možno nastavit změnou tlaku ve vnitřní a vnější komoře. Negativní pružina se nastavuje změnou tlaku v komoře vyrovnávací. Jelikož jsou komory tři, tak je velmi obtížné najít kombinaci tlaků, které dají pružině požadovanou charakteristiku. Showa pro pomoc s nastavením vytvořila aplikaci, ve které je možné si nasimulovat charakteristiku pružiny kombinací tlaků jednotlivých komor a množstvím oleje. Skutečná charakteristika je však ovlivněná třením, takže tato simulace slouží spíše pro pochopení vlivu změn jednotlivým tlaků. Plnění vzduchu vnitřní a vnější komory se provádí pomocí ventilků umístěných ve víčku pružící nohy. Balanční komora má plnící ventilek ve víčku nádobky, který je chráněn plastovou krytkou.

Obr. 21 Víčka SFF TAC [15]

Dále je umožněno nastavení tlumení stlačení a roztažení vidlice pro nízké rychlosti. Stavěcí šrouby ovládající zasouvání jehel jsou umístěny na obvyklých místech tedy v horním víčku pro stlačení a v dolním pro roztažení.

2.1.3 SFF TAC INTERNAL

Další z vidlic s oddělenou funkcí se vzduchovou pružinou je Showa SFF TAC Internal, kterou používá Honda a od SFF TAC požívaných na Kawasaki a Suzuki se konstrukčně liší. Přídavek internal v názvu znamená, že komora negativní pružiny je umístěna uvnitř vidlice. Tímto řešením se minimalizuje riziko porušení komory v případě pádu.

Pružení

Systém pružení je zde umístěn v levé noze a skládá se ze tří oddělených komor. Jelikož je na levé noze umístěn držák předního brzdiče, konstrukční řešení s vnější komorou by se použít ani nemohlo. Tím, že je vyrovnávací komora schovaná uvnitř a pohybuje se ve vnitřní komoře, která zastává funkci pozitivní pružiny je teplo, které v ní vzniká při pružení, odváděno nejdříve do vnitřní komory a přes ni do vnější a teprve pak přes stěnu vidlice do okolí. Konstrukční řešením s vnitřní vyrovnávací komorou odebírá vnitřní komoře objem. Menší objem znamená progresivnější charakteristiku.

Tvar i těsnění pístu zůstává stejné jako u vidlice s vnější vyrovnávací komorou, takže je zde stejný problém se třením.

Obr. 22 Písty vzduchových pružin SFF TAC a SFF TAC Internal [34]

Píst s vyrovnávací komorou, který je použit u SFF TAC Internal se prodává jako doplněk k vidlici SFF TAC s vnější vyrovnávací komorou. Při použití tohoto pístu se téměř zdvojnásobí objem vyrovnávací komory, čímž je dosaženo plynulejší charakteristiky negativní pružiny. Je to ovšem na úkor snížení objemu ve vnitřní komoře.

Tlumení

Systém tlumení je stejný jako u SFF TAC.

Možnost nastavení

Předpětí hlavní pružiny se opět nastavuje změnou tlaků ve vnitřní a vnější komoře. Stejně tak i negativní pružina změnou tlaku v komoře vyrovnávací. Ventilek pro změnu tlaku ve vnější komoře je k dispozici až pro model 2016, dříve Showa nedoporučovala tuto komoru tlakovat. Ventilky pro plnění vzduchu vnitřní a vnější komory se nachází v horním víčku levé nohy a ventilek vyrovnávací komory je umístěn ve spodním víčku, tam, kde je standardně umístěn šroub pro nastavení tlumení v roztažení.

Nastavení tlumení stlačení a roztažení vidlice pro nízké rychlosti se provádí stavěcími šrouby umístěnými ve víčkách pravé nohy, v horním nastavení tlumení stlačení a v dolním roztažení.

Obr. 23 Víčka SFF TAC Internal [23]

2.1.4 SFF COIL SPRING

Vidlice SFF Coil Spring s oddělenou funkcí využívá k pružení vinutou pružinu. Výhodou odděleného konstrukčního řešení je prostor pro umístění stavěcího mechanismu umožňujícího nastavení předpětí vinuté pružiny.

Obr. 24 Řez vidlicí SFF Coil Spring [18]

Pružení

Pružina je umístěna v pravé noze. Použitím vinuté pružiny byly odstraněny problémy se třením, které je hlavním problémem vidlic SFF TAC. Pružící charakteristika se nedá měnit v plném rozsahu jako u vzduchových pružin. Je umožněna pouze změna počátku křivky pomocí předpětí. Mírná změna sklonu křivky je možná změnou množství oleje, které zvýší progresivitu vzduchové pružiny tvořené volným prostorem v pružící noze vidlice. Pokud je potřeba změnit strmost křivky výrazněji, je nutné vyměnit pružinu. Výhodou vidlice s oddělenou funkcí je, že stačí vyměnit pouze jednu.

Tlumení

Systém tlumení je stejný jako u SFF TAC.

Možnost nastavení

Předpětí vinuté pružiny se nastavuje stavěcím kolečkem v horním víčku pravé nohy.

Nastavení tlumení stlačení a roztažení vidlice pro nízké rychlosti se provádí stavěcími šrouby umístěnými ve víčkách levé nohy, v horním nastavení tlumení stlačení a v dolním roztažení.

Obr. 25 Víčka SFF Coil Spring [23]

2.1.5 49 MM

Tato vidlice vznikla pro model 2017 Hondy CRF 450 jako náhrada problémové KYB PSF-2. Showa vyslyšela prosby veřejnosti a vrátila tomuto motocyklu vidlici s vinutými pružinami. Jedná se o standardní dvoukomorovou vidlici konstrukčně vycházející z továrních vidlic používaných v japonském šampionátu. K označení Showa použila průměr vnitřní trubky vidlice. [29]

Obr. 26 Showa 49mm [29]

Pružení

Pružení v této vidlici zajišťuje dvojice vinutých pružin a vzduchová pružina, kterou tvoří vzduch ve volném prostoru.

Tlumení

Uvnitř každé z noh vidlice je umístěna dvoukomorová tlumící patrona.

Možnost nastavení

K dispozici je pouze nastavení tlumení stlačení a roztažení vidlice pro nízké rychlosti. Provádí se stavěcími šrouby umístěnými ve víčkách vidlice, v horních nastavení tlumení stlačení a v dolních roztažení.

Obr. 27 Víčko Showa 49mm [16]

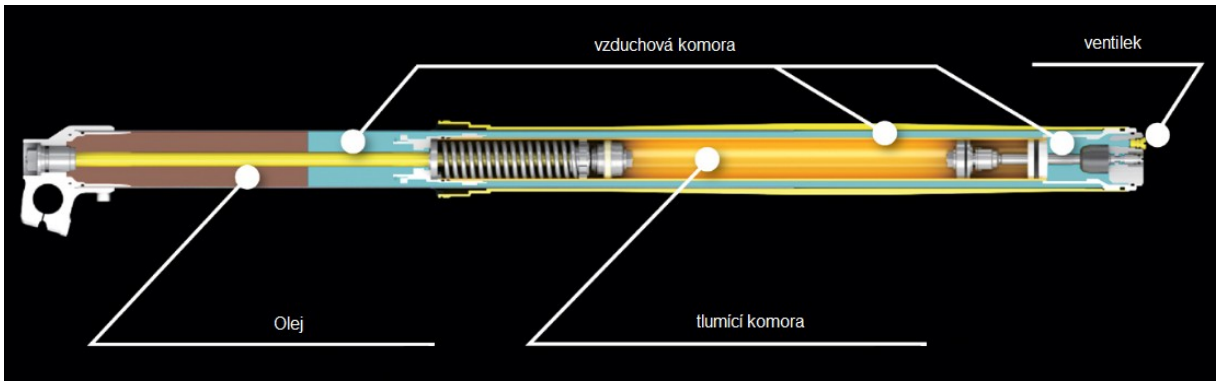
2.2 KAYABA

2.2.1 HISTORIE

Společnost byla založena jako Kayaba Research Center Shiro Kayabou v roce 1919. Původní myšlenkou Kayaby bylo vynalézt zařízení, které by pomohlo ochránit zemi v době války. Zpočátku spolupracoval s japonským námořnictvem, vynalezl bezpečnostní zařízení kontrolující přistávání letadel na letadlových lodích. V roce 1929 od námořnictva odešel a založil společnost Kayaba Seisakusho, která se stala továrnou na výrobu hydraulických tlumičů pro letecký průmysl. V roce 1935 se název společnosti změnil na Kayaba Manufacturing Co. Ltd. S prvním automobilovým tlumičem přišla společnost v roce 1948, v roce 1950 představila první tlumič pro motocykl - oil cusion unit (OCU). V roce 1997 představila společnost vidlici karbonovou, v roce 2011 plynovou. [24]

2.2.2 PSF-2

Název vidlice je zkratkou Pneumatic Spring Fork. Každá noha vidlice plní jak pružící, tak tlumící funkci. Zvláštností je, že na levé noze se nastavuje tlumení v roztažení a na pravé ve stlačení. Zjednodušeně si lze tuto vidlici přestavit jako standardní dvoukomorovou vidlici s tlumící patronou, ze které byla odstraněna vinutá pružina a ve vzduchu, zabírajícímu zbylý prostor, byl vytvořen přetlak. Vinutá pružina nad plovoucím pístem byla odstraněna, její funkci zastává vzduchová komora propojená s primární komorou. [35]



Obr. 28 Noha vidlice KYB PSF-2 [35]

Pružení

O pružení se v této vidlici stará vzduchová pružina, která má pouze jednu komoru. Pro vyrovnání počátečního působení vzduchové pružiny je použita vinutá negativní pružina, která je umístěna pod středním pístem v tlumící komoře. Negativní pružina působí v první polovině zdvihu. Z počátku je plně stlačena a po vyčerpání 140 mm zdvihu plně roztažena. Problém může nastat s jejím nastavením, protože jedinou změnu lze udělat výměnou pružiny a k tomu je potřeba rozdělat vidlici, což je velmi nepraktické. [37]

Vzduchová komora je nízkotlaká, doporučená hodnota přetlaku v této komoře je 250 kPa. Nízký tlak a poměrně málo třecích ploch přináší přijatelnou hodnotu tření. Nevýhodou je, že pokud selže vnější gufero mezi vnitřní a vnější trubkou, dojde ke ztrátě přetlaku a vidlice

výrazně klesne. Tím, že je vzduchová pružina v obou nohách a dvě těsnění nikdy neselžou ve stejný okamžik, není pokles tak dramatický, ale i tak není možno pokračovat v jízdě. [37]

Tlumení

Tlumení obstarává tlumící patrona, ve které je pod středním pístem negativní pružina. Hlavní zvláštností je však vzduchová pružina nad plovoucím pístem. Tato pružina má za úkol eliminovat efekt kavitace. Problém je, že kavitace nastává při vysokých rychlostech a ty jsou hlavně v počáteční fázi zdvihu. Vzduchová pružina nevytváří v počáteční fázi dostatečnou sílu a dovolí tak, aby vznikaly velké kavitační bublinky. Dalším stlačováním vidlice dochází ke zmenšování objemu komory vzduchové pružiny a k progresivnímu nárůstu její síly. Asi v polovině zdvihu dojde k prudkému uzavření kavitačních bublinek a dojde ke skokové změně tlumící síly.

Možnost nastavení

Předpětí pozitivní pružiny se nastavuje změnou tlaku ve vzduchové komoře. Charakteristiku je dále možné upravit změnou objemu oleje. Negativní pružina se nastavuje výměnou pružiny. Ventilek vzduchové pružiny je umístěn v horním víčku.

Je k dispozici nastavení tlumení pro nízké i vysoké rychlosti tlumiče. Stavěcí šrouby tlumení stlačení jsou umístěny v horním víčku pravé nohy a roztažení ve víčku nohy levé.

Obr. 29 Víčka KYB PSF-2 [23]

2.2.3 SSS

Kayaba s označením SSS, které je zkratkou pro „Speed Sensitive Damping“ [23], je dvoukomorová vidlice s vinutými pružinami. Tuto vidlici používá značka Yamaha pro své motokrosové motocykly již jedenáct let. Za tuto dobu byla funkčnost vidlice vyladěna na maximum a je tak dnes jednou z nejlepších dostupných vidlic pro motokrosové motocykly.

Pružení

Pružení zajišťují dvě vinuté pružiny umístěné ve spodní části vidlice a vzduchové pružiny, které jsou tvořeny vzduchem v nevyužitém prostoru vidlice.

Tlumení

Tlumící funkci vidlice vytváří dvě tlumící patrony.

Obr. 30 Komponenty vidlice KYB SSS [17]

Možnost nastavení

Vidlice umožňuje pouze nastavení tlumení stlačení a roztažení vidlice pro nízké rychlosti. Provádí se stavěcími šrouby umístěnými ve víčkách vidlice. V horních nastavení tlumení stlačení a v dolních roztažení.

Obr. 31 Víčko KYB SSS [23]

2.3 WP

2.3.1 HISTORIE

Společnost byla založena v Holandsku roku 1977 Wimem Peetersem, jehož iniciály nese název společnosti. Společnost řadu let vystupovala jako White Power, což se hodilo k barvě pružin, které používala. Jejich dodavatel pružin byl totiž výrobce nemocničních postelí a bílá barva byla jediná, kterou používal. Mimo to importér do USA byl v osmdesátých a devadesátých letech White Brothers. Časem byl název změněn na WP kvůli obavám z možného rasistického podtextu.

V roce 1999 získala WP společnost KTM, teprve deset let poté se výroba přesunula do továrny v Munderfingu v Rakousku, pár kilometrů od ústředí KTM v Mattighofenu. Původní WP podnik v Holandsku zůstal výhradně pro závodní podporu. Následující rok se KTM stala pobočkou WP a dva roky poté WP převzala produkci KTM rámů a výfukových system. V současné době vlastní WP Stefan Pierer´s Cross Industries, kteří spravují něco málo přes 50% KTM, zbytek vlastní Bajaj Auto.

V roce 2014 opustilo výrobní linku v Rakousku přes sto tisíc motocyklů (přes 1,2 milionu od počátku produkce v roce 1999). Tato čísla naznačují, jaká množství WP produkují, navíc, každý evropský výrobce motocyklů a množství výrobců automobilů používají některé ze součástek WP. [26]

2.3.2 4CS

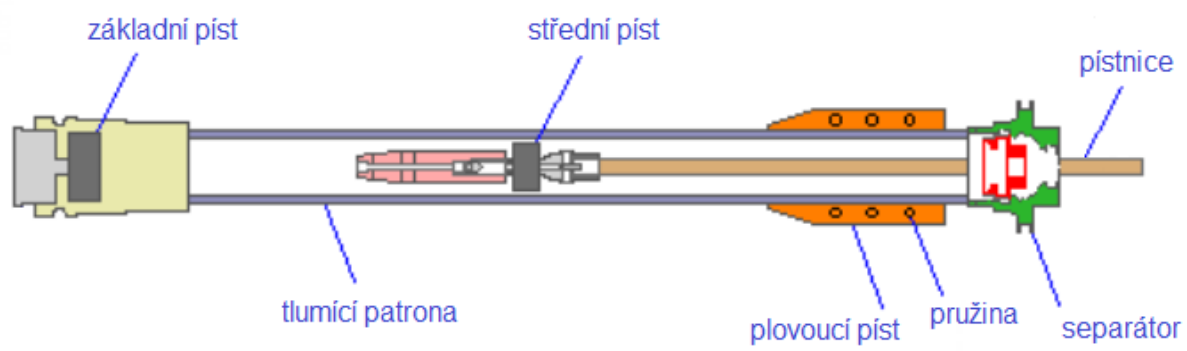
Tato vidlice byla naposledy pro motokrosové modely použita v roce 2016 a to pouze pro americký trh. Čtyřka v názvu značí čtyřkomorový systém. Vidlice má oddělené nastavení tlumení v roztažení a ve stlačení. Celý systém však funguje v podstatě stejně, jako standardní dvoukomorová vidlice, jen jsou komory jinak rozmístěny. Jednotlivé komory jsou barevně znázorněny v následujícím obrázku. Horní žlutá komora je komora, ve které se nachází vinutá pružina. Pružina je držena ve správné poloze vodítkem, na obrázku znázorněným černým válečkem. Zbylý prostor v této komoře je vyplněn olejem a vytváří vzduchovou pružinu. Červená komora je vnitřek tlumící patrony, je působištěm středního pístu. Vsouváním pístnice do červené komory se zmenšuje její objem a přebytečný olej je protlačován přes základní ventil, umístěný ve spodní části vidlice, do zelené komory. Objem zelené komory je upravován plovoucím pístem. Jako čtvrtá komora se bere uzavřený prostor v plovoucím pístu, ve kterém se nachází pružina. [27, 31]

Obr. 32 Noha vidlice WP 4CS[28]

Pružení

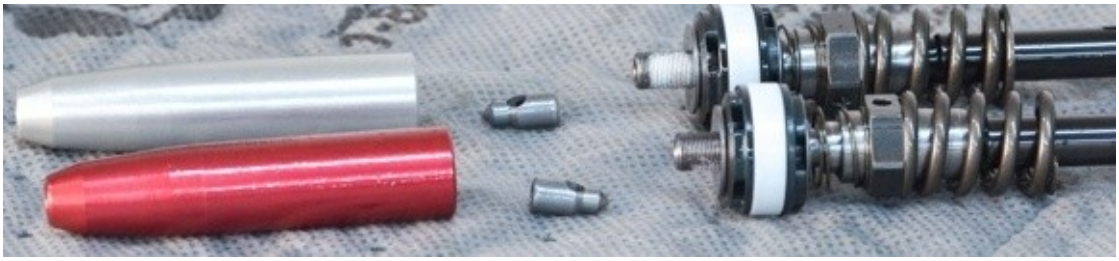
V obou nohách vidlice je v jejich horní části umístěna vinutá pružina. Její funkci doplňuje vzduchová pružina tvořená volným prostorem.

Tlumení



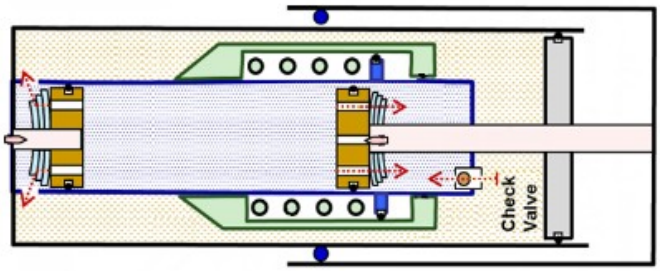
Obr. 33 Tlumící patrona vidlice WP 4CS [27]

Tlumící patrona je v obou nohách vidlice stejná. To, že se na jedné z noh nastavuje tlumení v roztažení a na druhé tlumení ve stlačení je způsobeno rozdílnou orientací hrotu stavěcí jehly. Patrona obsahuje všechny standardní komponenty jako vidlice konkurenčních japonských výrobců, jen jsou jinak uspořádány. Pozornost musí být věnována vnitřnímu těsnění separátoru. Separátor odděluje tlumící prostor od prostoru s pružinou. Pístnice v této vidlici má průměr pouze 8 mm a tím, že těsnění kolem ní musí při roztahování vidlice vydržet poměrně velký tlak, je právě toto slabé místo, ve kterém dojde k selhání. Další nevýhodou této vidlice, jejíž vnitřní komponenty jsou uspořádány naopak než obvykle je, že spodní část vidlice, která patří k neodpruženým hmotám, je poměrně těžká. [27, 31]



Obr. 34 Orientace jehel v kanálcích pístnic [30]

Vidlice je navržena tak, aby olej v ní mohl cirkulovat. Pokud při prudkém stlačení vidlice tlak oleje nad středním pístem poklesne pod tlak v prostoru plovoucího pístu, otevře se pojistný ventil, který je umístěn v horní části patrony a vyrovná tlaky v obou prostorách. To by mělo zabránit kavitaci. Systém však ve skutečnosti moc dobře nefunguje. [27]



Obr. 35 Schéma tlumící patrony vidlice WP 4CS[27]

V obou nohách je umístěn systém, který má za úkol zabránit doražení vidlice. WP ho nazývají hydrostop systém. Skládá se z kónického válečku upevněného na pístnici a protikusu, do kterého váleček zajíždí. Vytlačováním oleje z vnitřního prostoru v protikusu vzniká hydraulický odpor. Aby byl efekt tlumení pokud možno plynulý, jsou ve spodní části vyvrtané otvory, aby část oleje procházela protikusem. Nevýhodou je, že odporová síla tohoto systému je závislá na rychlosti. Navíc otvory ve spodní části protikusu jsou tak velké, že odpor vzniklý tímto systémem je minimální. [31, 32]

Obr. 36 Hydrostop systém [32]

Možnost nastavení

Předpětí pružiny se nastavuje vkládáním podložek pod pružinu. Díky tomu, že je pružina nahoře, je snadné ji vyjmout. Doladění konce charakteristiky je opět možné pomocí změny hladiny oleje.

Nastavení tlumení stlačení a roztažení vidlice pro nízké rychlosti se provádí stavěcími kolečky, která ovládají zasouvání jehel. Nastavení tlumení ve stlačení je v horním víčku levé nohy a tlumení v roztažení ve víčku pravé nohy.

Obr. 37 Víčka vidlice 4CS [33]

2.3.3 AER 48

Jedná se o velmi lehkou vidlici s oddělenou funkcí. V porovnání se 4CS, jejíž hmotnost je v závislosti na množství oleje okolo 9100 g je AER 48 asi o 1600 g lehčí. Levá noha obsahuje pružící vzduchovou patronu a pravá tlumící patronu. [25]

Pružení

Obr. 38 Pružící noha vidlice AER 48 [25]

O pružení se stará vzduchová patrona, která je navržena tak, aby byla velmi jednoduchá. Obsahuje pouze jednu komoru, která je pístem rozdělená na dvě a zastává tak funkci pozitivní i negativní pružiny. Ve stěně patrony je drážka, která způsobí, že při plném roztažení jsou prostory nad i pod pístem propojeny, jejich tlaky jsou vyrovnány, takže výsledná síla působící na píst je nulová. V této poloze se vidlice fouká na požadovaný tlak, který je 1000 kPa. Při stlačování vidlice se píst dostane za drážku a oddělí komory. Prostor nad pístem od této chvíle plní funkci pozitivní pružiny a prostor pod ním funguje jako pružina negativní.

Patrona je těsněna pouze dvěma pohyblivými těsněními a to má příznivý vliv na hodnotu tření.

Obr. 39 Píst vzduchové pružiny a drážka ve stěně tlumící patrony [25]

Tlumení

Obr. 40 Tlumící noha vidlice AER 48 [25]

V tlumící noze je umístěná tlumící patrona, která je velmi podobná patronám použitým například ve vidlicích Showa s oddělenou funkcí.

Možnost nastavení

Předpětí je možno nastavit změnou tlaku v komorách. Výhodou je propojení komor v roztažené poloze. V horním víčku levé nohy je tedy jen jeden ventilek. Hodnota tlaku by se měla pohybovat okolo 1000 kPa. I malá změna tlaku způsobí znatelnou změnu pružící síly.

Obr. 41 Víčka vidlice AER 48 [39]

Na tlumící noze jsou k dispozici stavěcí šrouby tlumení stlačení a roztažení vidlice pro nízké rychlosti. V horním víčku pro tlumení stlačení a v dolním pro roztažení. I zde je toto nastavení řešeno škrcením kanálku jehlou.

ZÁVĚR

V současnosti používané vidlice se od sebe zásadně konstrukčně liší zejména v oblasti pružení.

Z pohledu typu pružení, mohou být vidlice rozděleny na vidlice s pružením vinutou pružinou v kombinaci se vzduchovou pružinou tvořenou zbytkovým prostorem vidlice a na vidlice s pružením pouze vzduchovou pružinou. Každé řešení má své výhody a nevýhody. Vidlice se vzduchovou pružinou mají z pohledu uživatele výhodu ve znatelně nižší hmotnosti a možnosti rychlé změny charakteristiky pružiny a to bez nutnosti rozdělání vidlice a investice do nové pružiny. Stačí pouze změnit tlak v komorách. K dispozici je však obrovské množství variant nastavení a to může být pro řadu uživatelů matoucí. Tlak v komorách je navíc nutné kontrolovat před každou jízdou a upravovat ho podle aktuální teploty. Z pohledu výrobce je vzduchová pružina zajímavá zejména kvůli nižším výrobním nákladům. Vidlice s vinutou pružinou sice nenabízí takový rozsah nastavení bez servisního zásahu, ale po nalezení správného nastavení je její provoz méně náročný. Vidlice se vzduchovou pružinou mívají vyšší hodnotu statického tření z důvodu vysokých tlaků v komorách a vyššího počtu těsnících ploch. U některých typů vidlic se vzduchovou pružinou je statické tření tak velké, že zásadně ovlivňuje jejich funkčnost.

Podle konstrukčního uspořádání může pružící funkci obstarávat buď jedna, nebo obě nohy vidlice. Výhody mají většinou vidlice s oddělenou funkcí. Pokud se jedná o vidlici se vzduchovou pružinou, přesutím pružící funkce do jedné nohy klesá počet komor, jejichž tlak je při změně nastavení či kontrole nutno měnit, na polovinu. U vidlic s vinutou pružinou je oddělením uvolněn prostor pro mechanismus umožňující předepnutí vinuté pružiny a také tím, že je použita pouze jedna vinutá pružina, klesají náklady na její případnou výměnu. Při pohybu vidlice s oddělenou funkcí vznikají v nohách rozdílné síly. Tato skutečnost zvyšuje nároky na tuhost vidlice.

Tlumící funkci ve všech současně používaných vidlicích vykonává tlumící patrona. Převládá uspořádání s olejem v horní části vidlice, což je výhodné z hlediska snížení neodpružených hmot. Konstrukčně jsou si patrony velmi podobné, liší se však v jednotlivých komponentech, které způsobí velmi rozdílné tlumící charakteristiky celku.

Použité informační zdroje

[1] THEDE, P., PARKS, L. Race Tech´s motorcycle suspension bible. Minneapolis, Minn.: Motorbooks, 2010. ISBN 0760331405

[2] DIXON, J. The shock absorber handbook. 2nd ed.Chichester, England: John Wiley, 2007. ISBN 047051700

[3] Suspension theory guide [online]. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: https://sram-cdn-pull-zone-gsdesign.netdna-ssl.com/cdn/farfuture/75UTk5ybYtQ6kqHFZ6Ls5w-hZ4N8NfmgGVIsU7cKRsk/mtime:1436822026/sites/default/files/techdocs/rockshox_suspension_theory_10-replica_rev_c_0.pdf

[4] Shim ReStackor, Finally software to tune a shim stack [online]. [cit. 2017-02-05]. Dostupné z: http://www.shimrestackor.com/

[5] SHIGLEY, J. E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

[6] Viskozita kapalin [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/4960/mod_resource/content/0/8.pdf

[7] HELAGO-CZ, s.r.o., Mechanika [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: https://www.helago-cz.cz/files/3b-navody/staticke-a-dynamicke-treni-ue102050cz.pdf

[8] Why is this fork upside down? [online]. RevZilla. [cit. 2017-02-05]. Dostupné z: https://www.revzilla.com/common-tread/why-things-are-inverted-forks

[9] RS125R / RS250R Suspension Settings vol.1 [online]. sp125racing. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://www.sp125racing.com/rs125r--rs250r-suspension-settings-vol1.html

[10] PRAŽÁK, František. Tlumič odpružení jako prvek ovlivňující jízdní vlastnosti automobilu [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=57

[11] Monkey M. Motorcycle Blog for Cool Bike Articles Images Videos and whatever else. [online]. Blog of the Biker ®. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: http://www.blogofthebiker.com/2015/12/conventional-or-upside-down-forks.html

[12] VLK, Františeк. Rámy a odpružení motocyklů [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-03-159-177.pdf

[13] SUSPENSION REVALVE : Biker Bargains, Deals for your 2 Wheels! [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: http://www.bikerbargains.co.nz/index.php?main_page=popup_image&pID=872

[14] Kmitání vozidel [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:2810

[15] 11327142_1650126348534896_1874439233_n.jpg (480×480) [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: http://scontent.cdninstagram.com/t51.2885-15/s480x480/e15/11327142_1650126348534896_1874439233_n.jpg?ig_cache_key=MTAzMDgyMTYyNTExNDgyNjgyOA%3D%3D.2

[16] 2017-Honda-CRF450R-Fork-Cap.jpg (567×378) [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://www.mcnews.com.au/wp-content/uploads/2016/08/2017-Honda-CRF450R-Fork-Cap.jpg

[17] KYB_SSS_Forks_Dis_Assembled__84117.1471413839.1280.1280.jpg (600×438) [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://cdn1.bigcommerce.com/server3400/41922/products/503/images/1677/KYB_SSS_Forks_Dis_Assembled__84117.1471413839.1280.1280.jpg?c=2

[18] s600_94692330_1274802407.jpg (335×600) [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: http://cdn.vitalmx.com/photos/users/64/photos/34958/s600_94692330_1274802407.jpg?1294276595

[19] FMGV 3930C REB MV EXPLODE TXT-600.jpg (600×915) [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: http://racetech.com/images/INSTRUCT/FMGV%203930C%20REB%20MV%20EXPLODE%20TXT-600.jpg

[20] www.datapro.cz A e-shop DS-. Vlastnosti motorových olejů - Viskozita [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju--Viskozita

[21] FUCHS, Maziva pro motorová vozidla [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: http://www.hazmioil.cz/pdf/normy_specifikace.pdf

[22] The History of the SHOWA CORPORATION | SHOWA CORPORATION [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: http://www.showa1.com/en/corporate/history/

[23] SUPER TECH: THE DIFFERENCES IN 2016 FORK TECHNOLOGY [online]. Motocross Action Magazine. 2015 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: http://motocrossactionmag.com/home-page/super-tech-the-differences-in-fork-technology

[24] KYB Corporation, 80 Years of KYB [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: https://www.kyb.co.jp/english/company/media/history80_2015_11.pdf

[25] WP AER 48 fork. [online]. Kreft Moto. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: http://www.kreftmoto.com/new-blog/2015/8/20/wp-aer-48-fork

[26] WP Factory Tour [online]. Cycle World. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: http://www.cycleworld.com/2015/04/22/wp-factory-dutch-suspension-manufacturer-tour

[27] 4CS fork kit installation instructions [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: http://www.valvinglogic.com/suspInfo/siRebuild_fk_4CS_kit_explaination.php?rn=rnda

[28] WP-4CS-fork.jpg (800×743) [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: http://www.enduro360.com/wp-content/uploads/2013/01/WP-4CS-fork.jpg

[29] 2017 Honda CRF450R Review - Changes, Specs Comparison, Videos & Pictures [online]. Honda-Pro Kevin. 2016 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://www.hondaprokevin.com/2017-honda-crf450r-review-specs-dirt-bike-race-motorcycle-crf-450-

[30] FK_4CS_14WP_600-27.jpg (600×397) [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://racetech.com/images/INSTRUCT/FK_4CS_14WP_600-27.jpg

[31] Stillwell Performance. 4CS Forks Solved! With Stillwell Performance [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=FDRhvmoB9lE

[32] Kreft Moto. Kreft Moto's 4CS Bottoming Control System [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=dLsNPA3xqjQ

[33] RideJBI. Inside look WP 4CS Fork [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=eRQtTJFa8pI

[34] Update-Kit-Image-720x325-2.jpg (720×425) [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: https://www.procircuit.com/content/Update-Kit-Image-720x325-2.jpg

[35] AcidMoto.ch. Kawasaki KX450F 2013 (PSF) [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=uXgjCV5yymU

[36] MB1 Suspension | KYB PSF Forks [Internet]. MB1 Suspension. [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: http://www.mb1suspension.com/kyb-psf-forks

[37] Inverted Twin-Chamber Cartridge Fork [online]. Honda Newsroom. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: http://www.hondanews.com/channels/powersports-pricing-technology/photos/inverted-twin-chamber-cartridge-fork

[38] KX450F : Kawasaki Motorcycle & Engine Company [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: https://www.kawasaki-cp.khi.co.jp/mcy/off-road/17_kx450h_gallery_e.html

[39] Images tagged with #wpaer on instagram [online]. imgrum. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www.imgrum.org/tag/wpaer

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	[m^2]	Kontaktní plocha vrstev
A_{pl}	[mm^2]	Plocha plovoucího pístu
d	[mm]	Průměr drátu pružiny
D	[mm]	Vnější průměr pružiny
dv/dx	[s^{-1}]	Gradient rychlosti
F	[N]	Síla
F_N	[N]	Normálová síla
F_T	[N]	Třecí síla
G	[MPa]	Modul pružnosti ve smyku
K	[N·mm^{-1}]	Tuhost pružiny
l	[m]	Délka stlačení vidlice
m	[kg]	Hmotnost plynu
N	[–]	Počet závitů pružiny
n	[–]	Polytropický exponent
p	[Pa]	Tlak plynu
p_0	[Pa]	Počáteční tlak v komoře
P_0	[MPa]	Počáteční tlak v systému
p_1	[Pa]	Tlak po stlačení
p_a	[Pa]	Atmosférický tlak
P_c	[MPa]	Tlak mezi střením a základním pístem
P_r	[MPa]	Tlak pod středním pístem
P_{res}	[MPa]	Tlak v prostoru mezi plovoucím a základním pístem
r	[J·kg·K^{-1}]	Měrná plynová konstanta
S	[m^2]	Plocha pístu
T	[K]	Teplota
V	[m^3]	Objem plynu
V_0	[m^3]	Počáteční objem plynu
V_1	[m^3]	Objem plynu po stlačení
V_{res}	[mm^3]	Objem prostoru mezi plovoucím a základním pístem
V_{res0}	[mm^3]	Počáteční objem prostoru mezi plovoucím a základním pístem
x	[mm]	Délka stlačení pružiny
ΔP_{bv}	[MPa]	Změna tlaku způsobená základním pístem

ΔP_{mv}	[MPa]	Změna tlaku způsobená středním pístem
η	[Pa·s^{-1}]	Dynamická viskozita
κ	[–]	Adiabatický exponent
μ	[–]	Součinitel tření