

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Měření parametrů na odpružení sportovního vozidla

Autor: **Ondřej FRÜHAUF**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef FORMÁNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej FRÜHAUF**
Osobní číslo: **S12B0139P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Měření parametrů na odpružení sportovního vozidla**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Cílem je provést rozbor technických možností odpružení, které se aktuálně využívá u sportovních vozidel (formula SAE). Dále provést základní specifikaci požadavků s ohledem na funkčnost a technické parametry. Výsledným řešením je zhodnocení technických parametrů prostabilitu vozidla, konstrukčního uspořádání a možnosti montáže.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematické specifikace požadavků.
2. Vypracování rozboru technických parametrů.
3. Vypracování potřebného grafického zpracování.
4. Zhodnocení a určení parametrů.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

VALA, M. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I.* Univerzita Pardubice, Pardubice, 2003

JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B., ČUPERA, J. *Automobily Podvozky.* Avids.r.o, Brno, 2007

ČUPERA, J., ŠTĚRBA, P. *Automobily Diagnostika motorových vozidel I.* Avids.r.o, Brno, 2007

Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **21. září 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2016**

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 21. září 2015

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval své rodině a svým blízkým, kteří mě podporovali při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Doc. Ing. Josefu Formánkovi ,Ph D za vedení a odborné konzultace .

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Frühauf	Jméno Ondřej	
STUDIJNÍ OBOR	B2301- „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Jméno Josef	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLŮMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Měření parametrů na odpružení sportovního vozidla		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	54	TEXTOVÁ ČÁST	50	GRAFICKÁ ČÁST	4
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Cílem je provést rozbor technických možností odpružení, které se aktuálně využívá ve formulových vozech FSAE. Dále provést základní specifikaci požadavků s ohledem na funkčnost a technické parametry. Výsledným řešením je zhodnocení technických parametrů a základní uspořádání možných konstrukčních úprav a montáže.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Tlumič, pérování, Odpružení, Kmitání, FSAE,</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Frühauf	Name Ondřej	
FIELD OF STUDY	B2301- „Dopravní a manipulační technika“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Mesurment of parameters and suspension of sports car		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Design of machines	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	--------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	54	TEXT PART	50	GRAPHICAL PART	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The aim is to analyze the technical possibilities of suspension, which is currently used in single seaters FSAE. Additionally perform basic specification of requirements with regard to functionality and technical parameters. The resulting solution is to evaluate the technical parameters and the basic layout of potential design modifications and assembly.
KEY WORDS	Damper, Suspension, Vibration, FSAE

Obsah

Úvod.....	8
1. Technický rozbor soustavy	9
1.2. Pérování	11
1.2.1. Kvalita odpružení	12
1.2.2. Systém odpružení vozidla.....	12
1.3. Hodnocení pružin a pružících systémů	13
1.4. Tlumení	14
Pérování	14
1.5. Pružiny	15
1.5.1. Rozdělení pružin dle jejich charakteristiky	15
1.5.2. Rozdělení pružin dle jejich tvaru	16
1.6. Tlumiče	23
1.6.1. Rozdělení tlumičů.....	24
Tlumiče kapalinové.....	25
Tlumiče plynokapalinové	25
3. Uspořádání jednotlivých částí odpružení sportovního vozu.....	28
3.1. Varianty přepákování	28
3.2. Možnosti technického uspořádání --- Uspořádání odpružení na Formuli UWB 2016 29	
3.2.1. Varianty umístění tlumičů na vozidle.....	29
Stabilizátor.....	31
4. Návrh systému odpružení na vozidle FSAE UWB2016.....	32
4.1. Návrh tlumičů.....	32
4.2. Přepákování tlumičů.....	35
5. Pevnostní analýza MKP	39
6. Měření odpružení na vozidle	40
6.1. Princip měření	41
6.1.1. Průběh měření	42
6.1.2. Kontrolní měření	45
Závěr	47
Seznam použité literatury	48
Publikace na internetu.....	48
Seznam obrázků.....	49
Seznam tabulek a příloh.....	51

Úvod

Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh odpružení formulového vozu UWB 2016 pro mezinárodní soutěže Formula SAE. Konstrukční řešení musí odpovídat požadavkům a podmínkám, jež jsou stanoveny pro veškeré účastníky této mezinárodní soutěže. Formula Student nebo také FSAE je soutěž pro studenty technicky zaměřených vysokých škol kteří mají za úkol postavit formulový monopost který obstojí při různých zkouškách. Tato soutěž je hodnocena bodově v rozmezí 0 až 1000 bodů. Hodnotí se tkz. statická a dynamická část. Ve statické části je hodnocena prezentace, design a analýza ceny. Cílem prezentace je zhodnotit schopnosti týmu prodat svůj vlastní projekt a dokázat, že je lepší, kvalitnější či inovativnější než ostatní. Design je to co zaujme na první pohled a proto je to jeden z hlavních měřítek statické disciplíny s analýzou ceny která hodnotí poměr ceny s vlastnostmi daného vozidla. Dynamické zkoušky se skládají ze závodních aktivit na okruhu kde je akcelerační, ski-pad, autocross, endurance a spotřeba paliva. Akcelerační se zkouší na trati dlouhé 75 m, kde se startuje z pevného startu. Ski-Pad je závod na trati ve tvaru číslice 8. Další dynamickou zkouškou je Autocross to je jízda na trati ohraničená kužely. A poslední dynamická soutěž je endurance. Tato část je nejvíce bodově hodnocená. Je to závod na 22 km, na kterém jezdí 2 jezdci kteří se vystřídají po 11 km, součástí této poslední soutěže se hodnotí spotřeba paliva při daném závodu na 22 km.

Začátek této práce popisuje kmitání a jeho vliv na pohodlí a jízdní vlastnosti s ním spojené. Kvalitu odpružení a vysvětlení pojmů odpružená a neodpružená hmota vozidla. Poté celkový systém odpružení vozidla jaké prvky se do něj započítávají a jakou mají funkci. Následuje úsek o pružinách jako samostatném faktoru na vozidle rozdělení a popis jednotlivých druhů pružin včetně jejich výhod a konstrukčních provedení. Tento totožný úsek následuje i pro tlumiče tzn. jejich rozdělení funkce apod. Poté už se tato práce zaměřuje výhradně na návrh odpružení. Kde se nejdříve představuje jaké součásti se vyskytují na odpružení vozidel tzn. Tlumič, pružina, vahadlo apod.. jejich umístění na vozidle v jaké poloze by měli být tlumiče. Na závěr se provedlo měření odpružení na vozidle UWB2012 které se bude porovnávat a optimalizovat pro nový vůz UWB2016.



Obr. 1 – Tlumiče vozidla UWB2016



1. Technický rozbor soustavy

1.1. Historie odpružení

První pružící prvky se objevili již na bojových povozech v Egyptské civilizaci. Pružící prvky, které zde použili se velice podobali dnešním listovým perům. Na římských bojových vozech se též objevila listová pera ale většinou měla podobu sdružených dřevěných tyčí, kov se zde vyskytoval pouze ojediněle. Vývoj odpružení se na dlouhá staletí zastavil a poté pokračoval až s příchodem středověku, kde se jako pružící prvky na kočárech a hospodářských povozech používali především kožené popruhy či železné řetězy. Tímto způsobem byli připevněny kabiny kočárů či nákladní nástavby připevněny k podvozku, který postrádal veškeré další odpružení. Tento systém odpružení se využíval až do 19. Století. Po příchodu průmyslové revoluce přišly změny i v odpružení vozidel. Kočáry tažené koňmi a vozy byli zkonstruováni pouze pro relativně malé rychlosti. Jenže po objevech parních vozů bylo potřeba nalézt i účinnější systém odpružení. První vozidlo vybavené kovovými listovými pery bylo patentováno už v roce 1804 v Londýně jistým Obadiah Elliotem. Konstrukce byla obdobná tomu co se využívá v současnosti. Nástavba byla připevněna k listovým perům, která je uchycena přímo k nápravě. Tento systém se začal používat po celé Británii, později se rozšířil i na celý evropský kontinent. Ovšem kvůli vysokým finančním nárokům i náročnosti na výrobu se kovová listová pera používala zejména u větších vozů, na menších se uplatňovali hlavně na sebe kladené dřevěné lišty, podobně jak tomu bylo dříve u starých Římanů.

Při tomto daném typu odpružení ještě nebyl daný komfort jízdy takový jako dnes, k tomu byla ještě dlouhá cesta. O další krůček se k ní ale přiblížil cyklista J.M.M. Truffault z Francie, který použil první typ tlumiče. Daný tlumič fungoval na principu tření a byl umístěný na přední vidlici s kovovými pružinami. O rok později Edward V. Hartford viděl Truffaulta i s jeho bicyklem při závodech a uviděl potenciál odpružení, který by se mohl nadále použít i v automobilovém průmyslu. Oba se dohodli na společné spolupráci a opatřili tlumiči vůz značky Oldsmobile. Po pár letech společného podnikání se Hartford vrátil do Spojených států amerických, kde pokračoval ve výrobě systému odpružení pro různé automobilové výrobce.[10]



Obr. 2– Historické vozidlo [8]

Výhody tlumičů se prokázali i v roce 1901 při světoznámém závodu Paříž-Berlín kdy jezdec Henri Fournier vyhrál s náskokem více než půl hodiny. Vinuté pružiny si našli své místo na podvozcích až díky Williamu Brushovi v roce 1906 a to díky nehodě která se mu přihodila s jeho bratrem. William řídil Crestmobil a v zatáčce na nezpevněné silnici se vyboural. Tento typ vozidla měl odpružení pomocí listových per. Na nerovnostech silnice ztratil Brush kontrolu svým vozidlem a následně sjel do příkopu a převrátil se. Pouze pár hodin po tomto incidentu Brush začal vymýšlet automobil který by se těchto nežádoucích účinků zbavil. O dva roky později zkonstruoval typ Runabout který byl vybaven již zmiňovanými vinutými pružinami.[10]

Novinkou však bylo ,že vedle pružin byli instalovány i tlumiče a tak se světu představil první vůz s kombinací pružin a tlumičů jak jej známe dnes. Dané tlumiče pocházeli od firmy



Obr. 3– Crest mobile[9]

již zmiňovaného Edwarda V. Hartforda. Vinuté pružiny

dostávali více prostoru v konstrukci vozů ale i nadále převažovala výroba listových per která byla levnější dala se lépe přizpůsobit hmotnosti vozu pouhým přidáním dalších listů či změnou tvaru na rozdíl od vinutých pružin, které byly náročnější na výrobu, a mají neměnné vlastnosti. Ve 30. letech se vinuté pružiny začali objevovat mnohem častěji. Výkonnější vozy se složitějšími systémy zavěšení kol, včetně nezávislých náprav si tento typ odpružení vyžadoval. Onoho času se také začali nově používat také hydraulické typy tlumičů. Na odpružení pomocí zkrutných tyčí přišla britská firma Leyland ale nejvíce se nich podílel konstruktér Ferdinand Porsche se svým bratrem. Ale i nadále odpružení listovými per převládalo. Například v USA se používalo až do 70. let. V Evropě nastal převrat po druhé světové válce, když téměř všechny osobní automobily používali odpružení pomocí vinutých pružin a tlumičů na místo staršího odpružení pomocí listových per. V dnešní době se listové pružiny používají už jen u nákladních automobilů či terénních automobilů a to hlavně na zadních nápravách.[10]

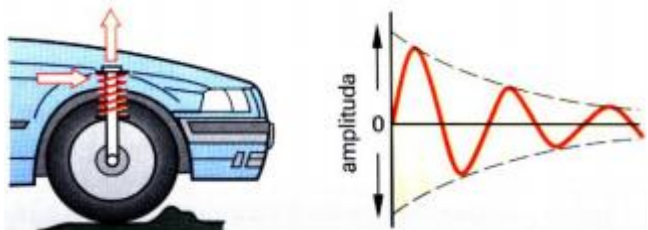
1.2. Pérování

Pérování je umístěno mezi rámem a nápravami popřípadě mezi nápravami a samonosnou karoserií vozidla. Odpružení má zásadní vliv na:

- Pohodlí jízdy – je takové prostředí které vyvolává co možná nejmenší svalovou i nervovou únavu. Nejvíce jej ovlivňují mechanické otřesy, hluk, jakost vzduchu, viditelnost a mnoho dalších činitelů. Jedním z nejjednodušším ale velice významným měřítkem pohodlí jízdy je frekvence vlastních kmitů karosérie. Lidský organismus nejlépe snáší frekvence kmitů okolo 60 – 80 za minutu jelikož se tato frekvence velice podobá normální chůzi. Vyšší frekvenci člověk cítí jako nepříjemné a rychlé otřesy načež nižší frekvence způsobuje u citlivějších lidí tkz. „Mořskou nemoc“.
- Bezpečnost jízdy – při přejetí větších nerovností na vozovce mohou kola od vozidla ztratit kontakt s vozovkou to znamená, že po celou dobu co není styk zaručen nelze přenášet žádné silové účinky jako například brzdné, tažné či suvné.
- Stabilitu vozidla – při rychlé jízdě zatáčkou velmi často dochází ke snížení zatížení kol která se pohybují na vnitřní straně zatáčky a u těchto kol klesá schopnost přenášet boční síly. Funkce tlumiče spolu se stabilizátorem mají docílit stálou velikost adheze mezi všemi koly vozidla a vozovkou. [3]

Kmitání

Rozkmitání odpružené hmoty vozidla tzn. Kol a karosérie vznikne po přejezdu vozidla přes nerovnost. Při pohybu kola směrem k vozidlu se pružina stlačuje, tento pohyb se přenáší i na karosérii, která se taktéž pohybuje svisle vzhůru. Po uplynutí určitého časového úseku překoná tíha odpružené hmoty vozidla sílu pružiny a karosérie, která dosáhla maximální horní výchylky a nyní se pohybuje opačným směrem tedy směrem dolů. Po dosažení maximální dolní úchytky se karosérie pohybuje směrem nahoru a pomalu se utlumuje. Tento děj se nazývá tlumené kmitání [3]



Obr. 4– Kmitání[3]

Frekvence vlastních kmitů pružiny:

je název kterým se označuje počet kmitů po rozkmitání pružiny. Frekvence vlastních kmitů není závislá na amplitudě, závislostí na tuhosti pružiny kmitání postup času ustane tkz. samotlumící účinek pružiny. Vlastnost frekvence kmitů také závisí na tuhosti pružiny, čím má pružina větší tuhost tím je taktéž vyšší frekvence kmitů.

Tuhost pružiny

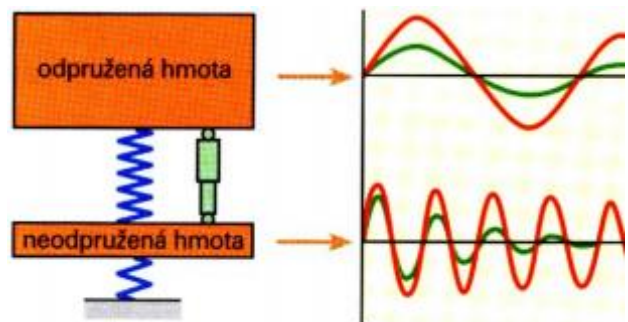
Tuhost pružiny závisí především na její konstrukci. U listových per závisí na volbě materiálu, počtu listů a také na délce hlavního listu. U vinutých pružin závisí především na průměru pružiny, průměru drátu a počtu činných závitů. U pneumatických pružin v prvé řadě na tlaku vzduchu a rozměrech dané pružiny. Zatížení pružiny je nepřímo úměrná její tuhosti. Tzn. Čím větší zatížení působí tím menší je tuhost pružiny a přesně na opak.

1.2.1. Kvalita odpružení

Kvalita odpružení závisí především na poměru hmotnosti odpružených částí k hmotnosti neodpružených částí. Čím je tento poměr větší tím je pérování kvalitnější.

Hmotnost odpružených částí

Je veškerá hmotnost nacházející se za vozovými pružinami. To může být karosérie či vnitřek interiéru apod.



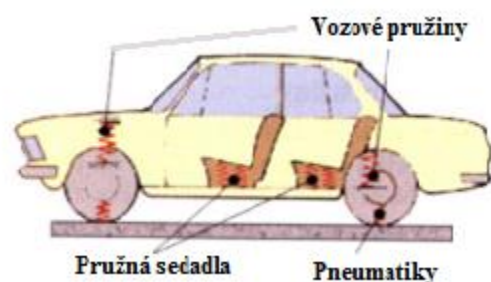
Obr. 5–Odpružená a neodpružená hmota[3]

Hmotnost neodpružených částí

Je veškerá hmotnost nacházející se před vozovými pružinami. Do této kategorie spadají, disky, brzdové ústrojí či Těhlice.[3]

1.2.2. Systém odpružení vozidla

Do systému odpružení vozidla spadá hned několik součástí které mají za snahu zlepšit kvalitu jízdy. Na obrázku 3 vidíme celkový systém odpružení na vozidle, jeden z pružných prvků jsou pneumatiky které pohlcují kmity od nerovností na vozovce a tím zlepšují výkmit náprav. Vozové pružiny jsou primární odpružení vozidla. Pružná sedadla doplňují celý systém odpružení na vozidle a jejich hlavní funkcí je zmírnit chvění a kmitání vzniklé za vozovými pružinami. Do této skupiny prvků by se dalo zařadit taktéž uložení některých částí na



Obr. 6– Systém odpružení vozidla[3]

vozidle např. uložení motoru na kovopryžových pouzdrech tkz. Silentbločích.[3]

1.3.Hodnocení pružin a pružících systémů

Správné fungování pružin a pružících systémů se vyhodnocuje podle daných parametrů :

1. Konstrukční a nebo také výrobní složitost která se promítne do pořizovací ceny či složitých nároků na údržbu
2. Využití materiálu což je vztah mezi použitým materiálem(rozměrem či hmotností) a účinností pružiny
3. Schopnost přenášet veškeré síly které vzniknou mezi rámem a nápravou. Může to být tažná síla,brzdná či suvná.
4. Progresivita nebo-li vztah mezi zatížením a vlastní frekvencí pružiny. Ideální případ je když pružina při změně zatížení stále stejnou vlastní frekvenci to znamená ,že musí mít proměnou tuhost. Progresivita pružiny se docílí konstrukční úpravou či je samočinná plynoucí z principu činnosti pružiny
5. Samotlumící účinky je to schopnost po určité době utlumit vlastní kmity. Tyto účinky jsou závislé především na druhu pružiny a její konstrukci. Čím větší jsou tyto účinky tím menší jsou nároky na tlumiče

Odpružení automobilu

Je jednou z nejdůležitějších věcí na automobilu. Zajišťuje pružné spojení mezi rámem automobilu nebo karoserií a zavěšením kola. Jako odpružení můžeme počítat pneumatiky,vzduch v pneumatikách ale hlavně pružiny a tlumiče. Tyto prvky nám zajišťují neustálý styk kola s vozovkou a s tím související ovladatelnost,komfort z jízdy, izolace hluku po přejetí nerovností a v neposlední řadě zmenšení brzdné dráhy vozidla.

Odpružení

Odpružení má snahu o co nejmenší přenos kmitavých pohybů náprav na podvozkové části a karoserii. Dochází tam tak k ochraně přepravovaného nákladu či přepravovaných osob proti jakýmkoliv otřesům způsobeným nerovnostmi na silnici.Odpružení má zajistit stálý styk pneumatik s vozovkou. Nebyl by zajištěn přímý styk pneumatik s vozovkou u řídicích kol, docházelo k zhoršené ovladatelnosti vozidla a tím pádem i ohrožení přepravujících osob či nákladu.

Netlumená vlastní frekvence $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ je určující veličinou pružení.

Kde k je tuhost dané pružiny. Ta je závislá na druhu materiálu či druhu pružících prvků. [4]

Rozdělení pružících prvků podle materiálu:

- Pružiny ocelové(Listové,vinuté,torzni)
- Pružiny pryžové
- Pružiny vzduchové (pneumatické)
- Pružiny vzduchokapalinové(hydropneumatické)
- Pružiny pryžokapalinové (hydroelastické)

1.4. Tlumení

Návrh tlumení pérování vozu je velice důležité a proto se na něj klade velký důraz. Správně zkonstruované tlumení má za následek zmenšení energetické náročnosti, zlepšení komfortu pasažérů ale zejména zlepšení bezpečnosti.

Jsou zde tři konstrukční provedení :

- a) Pasivní – skládá se pouze z tlumiče a péra. Charakteristika tlumení je neměnná jelikož je dána již výrobou či mechanickou konstrukcí. Nastavení charakteristiky může být buď měkké či tvrdé. Měkké tlumení má za následek větší pohodlí a komfort z jízdy ale na druhou stranu je toto tlumení méně stabilní. Tvrdé tlumení je přesný opak tedy je zde menší pohodlí ale naopak větší stabilita. Toto nastavení se používá zejména u sportovních vozů.
- b) Semi-aktivní – Na rozdíl od pasivního tento systém obsahuje tlumič který mění charakter tlumení na základě řídicího systému. Jedná se o disipativní systém – nelze zde generovat tlumičem sílu směrů který je opačný než je směr pohybu tlumení. Z toho důvodu je tento druh tlumení limitován a navíc zde je veliká časová konstanta která se pohybuje okolo 10 ms. Systém je možno řídit skokově či kontinuálně.
- c) Aktivní – Výsledná charakteristika se zde může měnit ve velké míře a to díky obsahujícímu zdroji síly který může působit libovolným směrem. Jediná nevýhoda tohoto systému je vysoká energetická náročnost systému navzdory tomu s akčním členem lze tuto nevýhodu eliminovat. [9]

Pérování

Pérování zajišťuje pružné spojení nápravami a nadstavbou(karoserií),díky tomu se zabezpečují o co největší možnost bezpečnosti v automobilu a také pohodlí jízdy.Pohodlí jízdy se rozumí takové podmínky v prostoru posádky, které vyvolají minimální fyzickou a psychickou únavu. A proto je snaha co nejvíce snížit mechanické kmitání automobilu.

Za následek rychlé jízdy po nerovné vozovce vznikají krátké, tvrdé a velmi prudké nárazy, účelem pérování je převést tyto rázy na měkčí a volnější výkyvy karoserie, a tím zároveň chránit posádku a přepravovaný náklad. Důležité je i přenos suvných z náprav na nosnou konstrukci při brzdění a jízdě. [5]

U pružících prvků (šroubové pružiny, listové pružiny, zkrutné tyče, vzduchové pružiny, pryžové dorazy) se měří jejich deformace při různém zatížení , které se mění od nuly do maximální hodnoty a zpět na nulu. Ze získaných údajů se sestavuje tzv. pružící charakteristika. Zkoušky se provádí na poměrně jednoduchých zkušebních stavech , které jsou vybaveny zařízením pro statické zatěžování pružiny a snímači síly a deformací. [1]

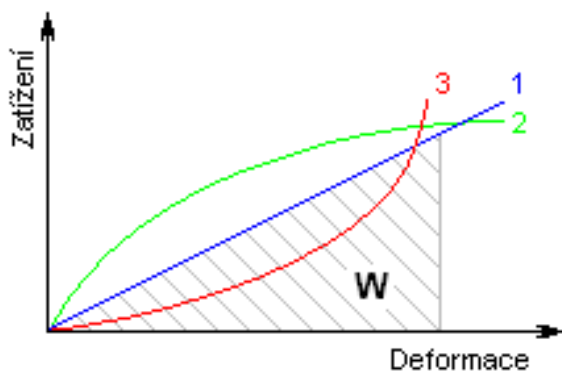
1.5. Pružiny

Jsou strojní součásti používané pro přenos, akumulaci či zachycení mechanické energie. To se docílí pomocí pružné deformace materiálu ze kterého je pružina vyrobená, ať už jde o dřevo či kov. Pružiny patří mezi strojní součásti které jsou nejvíce zatěžované a používají se např. jako zachycovače statických a dynamických sil, absorbery energie pro vratná zařízení či pohony a v neposlední řadě tlumiče rázů při ochraně proti chvění.

Funkci pružiny posuzujeme podle její charakteristiky. V té se posuzuje velikost deformace v závislosti na působícím zatížení

Dle průběhu deformace můžeme rozdělit pružiny na Lineární, progresivní a degresivní. viz obr.7. Kde křivka č.3 představuje degresivní pružinu, křivka č.2 progresivní pružinu a přímka č.1 značí lineární závislost tudíž to je pro lineární pružiny.

Plocha W nacházející se pod křivkou značí deformační práci (energi) pružiny při jejím zatěžování. [11]



$$W = \int_0^s F \times ds \text{ [J]} \quad (2.5.1)$$

Obr. 7 – Graf závislosti síly na poměrném stlačení [13]

1.5.1. Rozdělení pružin dle jejich charakteristiky

Lineární pružiny:

Její deformace je přímo úměrná zatěžující síle.

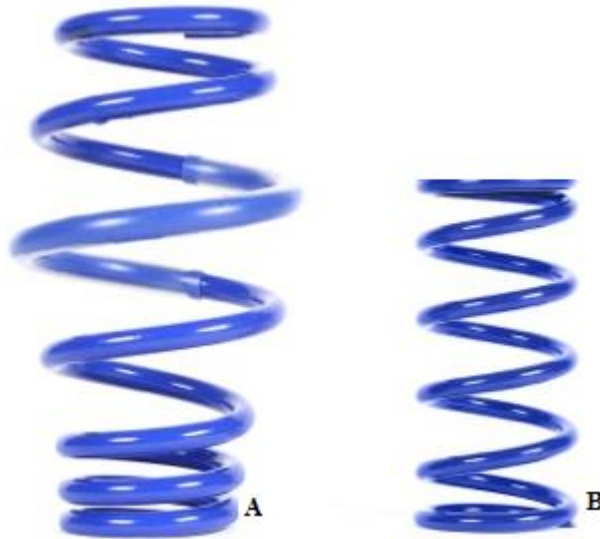
Např. Má-li být pružina stlačena o 1 mm musí se použít síla o velikosti 10 N a dále síla roste lineárně takže pro stlačení o 10 mm musíme použít sílu velkou 100N.



Obr. 8 – Lineární pružina [14]

Progresivní pružiny:

Tato pružina nemá lineární průběh. Průběh se mění exponenciálně. Tzn. Pro stlačení pružiny musíme s větší deformací použít několika násobně více síly. Viz. Formula SAE kde je umístěná progresivní pružina která nám zajistí poklesnutí světlé výšky vozidla o 25 mm s velmi malou námahou pouze s váhou řidiče a po dosažení tohoto stlačení bude pružina dále už velice obtížně stlačitelná.



Obr. 9 – Progresivní pružina (A) a Lineární pružina(B) [15]

Degresivní pružiny:

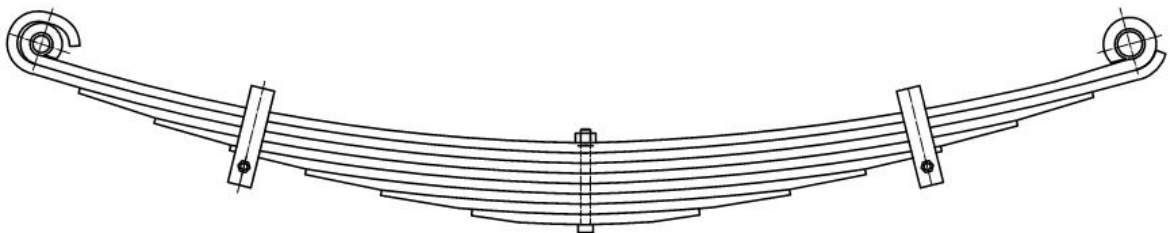
Pracují na opačném principu progresivních pružin. Tedy na začátku jsou velice obtížně stlačitelné a poté už tkz. Měknou.

1.5.2. Rozdělení pružin dle jejich tvaru

Listové pružiny

Listové pružiny se používají zejména u starších osobních automobilů ale můžeme je též, vidět u nákladních automobilů, zemědělských.

Listová pružina je složena z plátů z pružinové oceli, které jsou na sebe naskládány a zpravidla spojena třmeny. Viz. Obr.10[2]



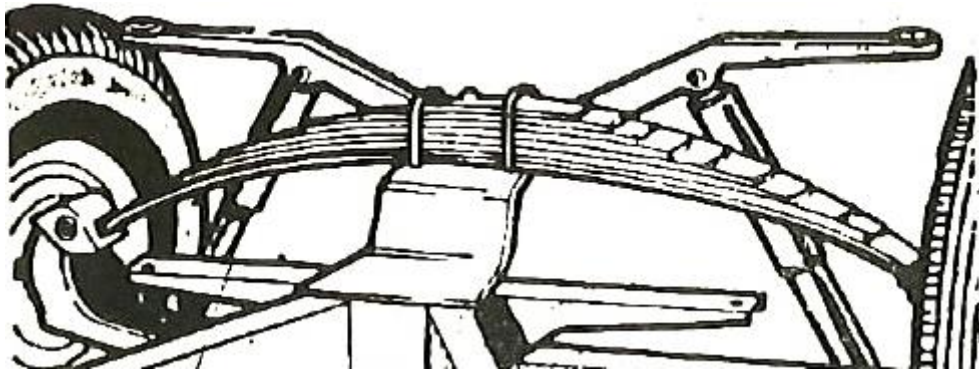
Obr. 10 – Listová pružina[16]

Listové pružiny jsou umístěny podélně s rovinou vozidla. Z důvodu změny délky samotné listové pružiny je jeden konec obvykle uchycen otočně a druhý tak, aby mohl vymezit rozdíly při pérování (klouže v kluzné opěře, nebo se vykyvuje na pomocném třmenu).

Na obou koncích listové pružiny jsou obvykle závěsná oka, která jsou tvořena svinutím nejdelšího listu. V závěsných okách jsou zalisovány pryžová válcová pouzdra s otvorem pro čep pro uchycení k nástavbě popřípadě k výkyvnému třmenu.

Při deformaci listové pružiny se jednotlivé listy po sobě posouvají a proto vzniká tření na styčných plochách. Toto se prokáže zvýšeným odporem pružiny proti její deformaci, a tedy vlastně tlumením v pružící soustavě. Protože jde o suché tření vzniklé vlivem nečistot snažíme se toto tření co nejvíce eliminovat nebo ho zmenšit na vhodnou mez. V minulých letech se pružiny mazaly v dnešní době už se používají přesně upravené vložky z plastů. Rozpěrnými vložkami umístěnými ve středu pružiny se docílí k odstranění suchého tření.

Nejideálnější by měli být listové pružiny s co nejmenším počtem plátů, které pak snižují nežádoucí suché tření.[2]



Obr. 11 – Listová pružina použitá na vozidle s tuhou nápravou[17]

Vinuté pružiny

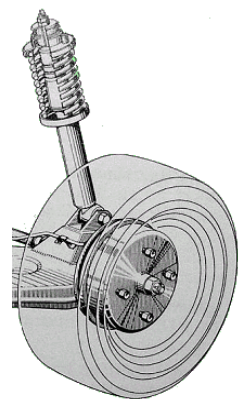
Nejčastější využití vinutých pružin je u osobních automobilů, u nákladních automobilů se vinuté pružiny používají pouze zřídka. Největšími výhodami pružin je malá hmotnost, nepotřebují žádnou údržbu, jednoduché uložení (nejsou potřeba žádné klouby) a na rozdíl od listových pružin se zde nevyskytuje žádné suché tření. Bohužel ale nemají žádné vlastní tlumení a nemohou vést nápravu.



Stoupání vinutých pružin musí být takové, aby při maximálním stlačení byla mezi závity bezpečná vůle, v odlišném případě by pružina byla hlučná a způsobovala přenos rázů z vozovky.[2]

Obr. 12 – Vinutá pružina[18]

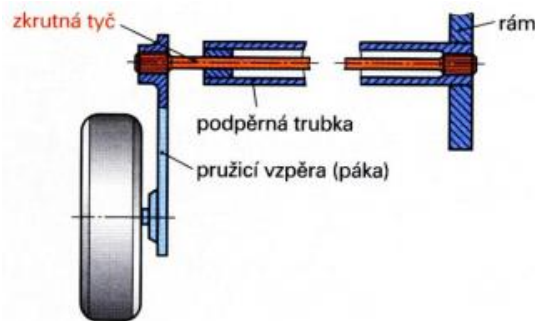
Konce závity jsou opatřeny tzv. Závěrnými závity, které mají funkci bezpečného dosedu pružiny s opěrnými plochami a přenosu sil. Délka závěrného závitu je minimálně $\frac{3}{4}$ délky obvodu vnutí. Závěrné závity jsou na konci pružiny proti sobě pootočené o 180° . [2]



Obr. 13 – Vinutá pružina [19]

Zkrutné pružiny

Zkrutná pružina nebo častěji používaná fráze zkrutná tyč či torzní tyč je tyč kruhového průřezu s hlavicemi, které mají větší průměr na obou koncích. Povrch torzní tyče je broušen a otryskáván z důvodu zvýšené únavové pevnosti. Hlavice jsou opatřeny drážkováním pro přenos krouticího momentu. U nákladních automobilů se používají skládané torzní tyče, to jsou v podstatě dvojice či čtveřice zkrutných tyčí na sobě. [2]



Obr. 14 – Zkrutná tyč na vozidle[2]

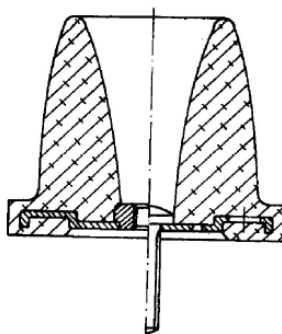
Jsou montovány s předpětím které odpovídá statickému zatížení stojícího vozidla. Předpětí se nastaví natočením a upevněním regulačního ramínka na pevném konci. Torzní tyče se dají na vozidle snadno umístit a zabírají velice málo místa. Předností torzních tyčí je nízká hmotnost a malé nároky na údržbu. [2]



Obr. 15 – Zkrutná tyč na vozidle[2]

Přezové a polyuretanové pružiny

Využití pryže dneska nalezneme u každého vozidla. Pryž se využívá jako pružný člen který využívá své elastické vlastnosti. Pryž se dnes vyrábí jako syntetická nebo



Obr. 16 – Přezový silentblok [4]

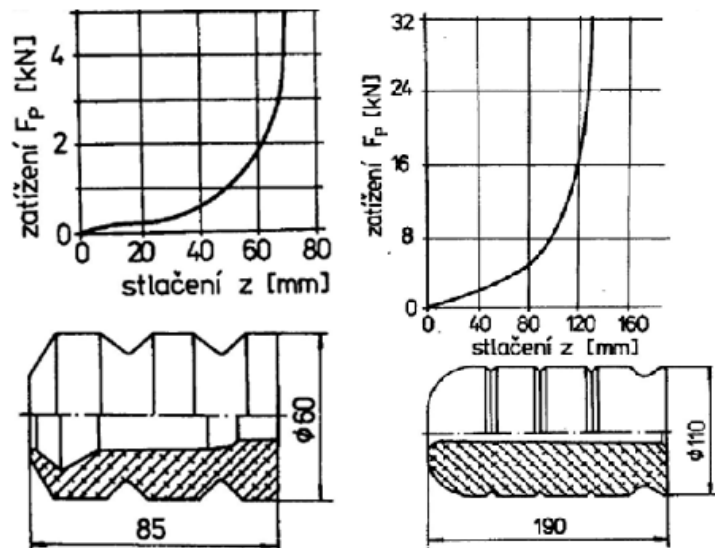
přírodní. Pryžový člen je namáhán zejména smykem, tlakem a krutem. Poměrem těchto dvou namáhání docílíme progresivní deformační charakteristiky. Pryž má mnoho výhod pro použití jako tlumící materiál, jeho cena je nízká, má vysokou životnost, vysoké vlastní tlumení a není potřeba žádná velká údržba. Oproti těmto výhodám má pryž také několik nevýhod. Pryž je velice citlivá na změnu teploty a taktéž není odolná vůči olejům či jiným chemikáliím. Napříč těmto nevýhodám má pryž velice velké a stabilní uplatnění nejen jako přídavný materiál okružovacích elementů či dorazů bloků ale i jako pružící prvek silentbloků k ukotvení motoru či karoserie.

V současné době se stále více používá pružin vyráběné z pěnového polyuretanu. Tento materiál dovoluje stlačení až o 80% bez toho aby se daná pružina poškodila. Oproti pryžové pružině je odolná vůči účinkům oleje, ovzduší či benzínu. Vydrží i trvalé teploty v rozsahu [2]



Obr. 17 – Pryžová pružina [20]

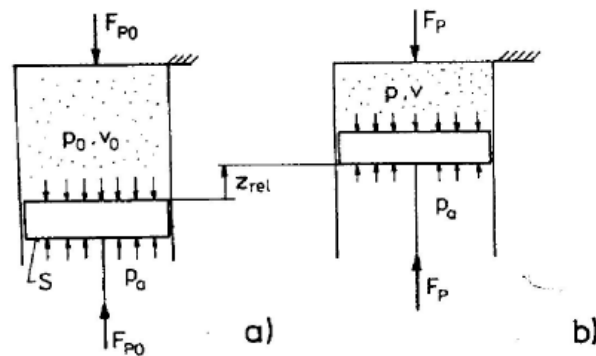
-40 °C až do 80 °C. Tento materiál lze slepit s daným kovovým dílem nebo ho lze i mechanicky obrábět. Nejdokonalším spojením se dosáhne při výrobě, kdy se daná pružina zalije přímo do kovového dílce. Jak je vidět z obrázku pod textem mají tyto pružiny silně progresivní charakteristiku. Ve většině případů jsou zatěžovány hlavně v podélném směru. Mimo jiné tento druh pružin zajišťuje velmi měkké odpružení.



Obr. 18 – Pryžová pružina s charakteristikou zatížení [4]

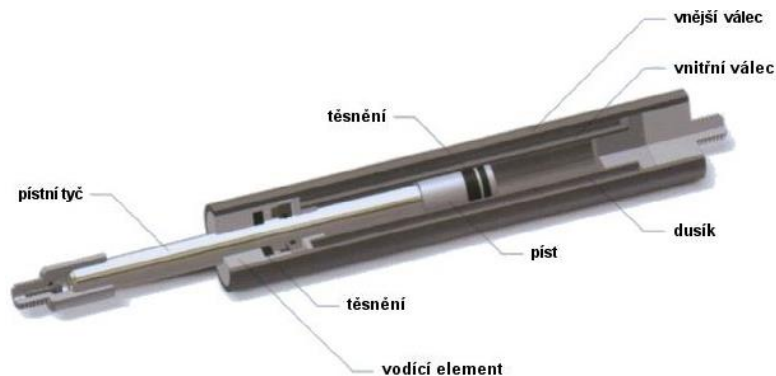
Plynové pružiny

Stlačitelnost plynů je hlavní vlastnost které se využívá u plynových pružin. Objem či hmotnost plynu je možno regulovat a udržovat stálou vzdálenost karoserie nad vozovkou a to nezávisle na zatížení které působí na karosérii. [4]



Obr. 19 – Plynové pružiny[4]

- Statické stlačení plynové pružiny se vyrovná změnou hmotnosti plynu (vzduchu) při stálém uzavřeném objemu ; tzv. vzduchové pružení
- Statické stlačení plynové pružiny se vyrovná přičerpáním kapaliny (oleje) nad píst, přičemž hmotnost plynu (většinou dusík) nad pístem zůstává stálá ; tzv. hydropneumatické odpružení¹



Obr. 20 – Plynové pružiny[21]

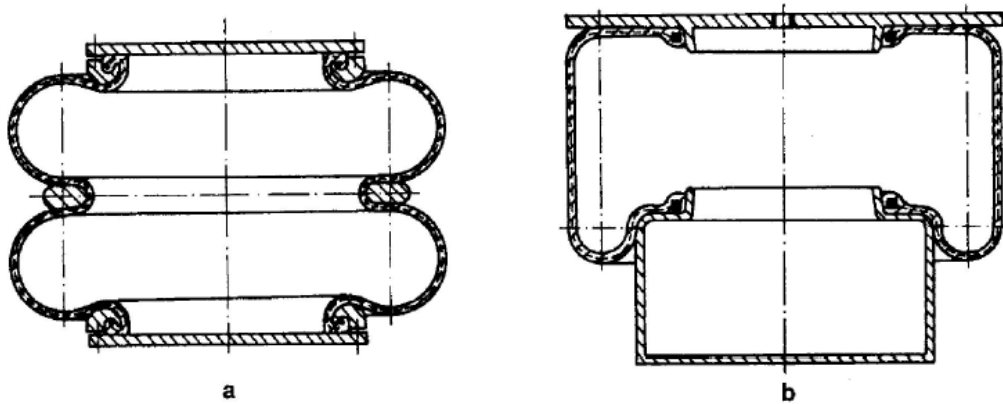
Nejčastěji se plynové pružiny vyskytují v automobilech zadní části vozidla. Kdy pomáhají uživateli zvednou zadní dveře od kufra a dále drží dveře v nejvyšší poloze dokud je uživatel nezavře zpátky. Nevýhodou těchto pružin je jejich citlivost na chlad.

Vzduchové odpružení

Vzduchové pružiny mají uzavřený prostor, ale nejsou to pístové pružiny. Používají se většinou tzv. Měchy a to jsou buď vaky nebo vlnovce. Vakové pružiny mají vak a píst. Dojde-li k pružení tak vak se odvaluje po pístu a tím pádem dochází ke zvýšeným deformacím. Píst musí být co nejlépe tvarován a zároveň vak musí být z velice odolného materiálu. Splněním těchto dvou kritérií dosáhneme vysoké životnosti vakových

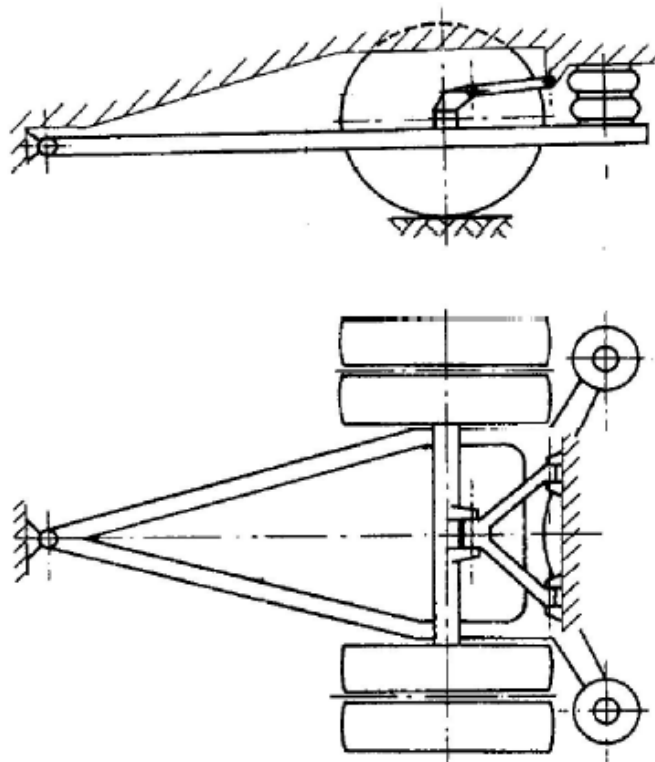
¹VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. Nakladatelství vlk, 2006.

pružin. Vlnovcová pružina se skládá z částí zvaných vlnovce, ty bývají z pravidla dva až čtyři. Kordová vložka zpevňuje daný pryžový vlnovec a tím se docílí vysoké pevnosti a odolnosti vůči proražení. Životnost která se pohybuje až do 500 000 ujetých km je docílena hlavně tím, že se vlnovec v podstatě jen ohýbá.

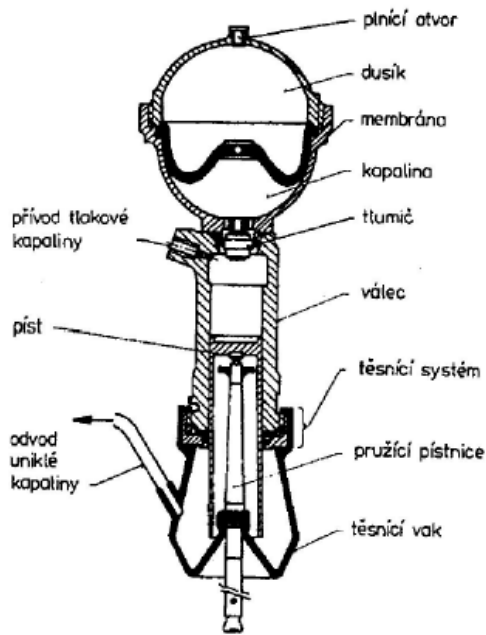


Obr. 21 – Vlnovcová a Vaková pružina [4]

Je nutnost u vlnovcové a vakové pružiny zabezpečit vedení nápravy v podélném a příčném směru, jelikož tyto pružiny nemají schopnost tohoto vedení. Proto se používá kombinace ocelové a vzduchové pružiny a to zejména u návěsů, přívěsů a nákladních automobilů. Pryžové dorazy u vzduchových pružin zamezují propružení ve svislém směru a výrazně zvyšuje progresivitu při velkém propružení. [4]



Obr. 22 – Vzduchové pružiny na automobilu[4]



Obr. 23 – Hydro-pneumatická pružící jednotka Citroën[4]

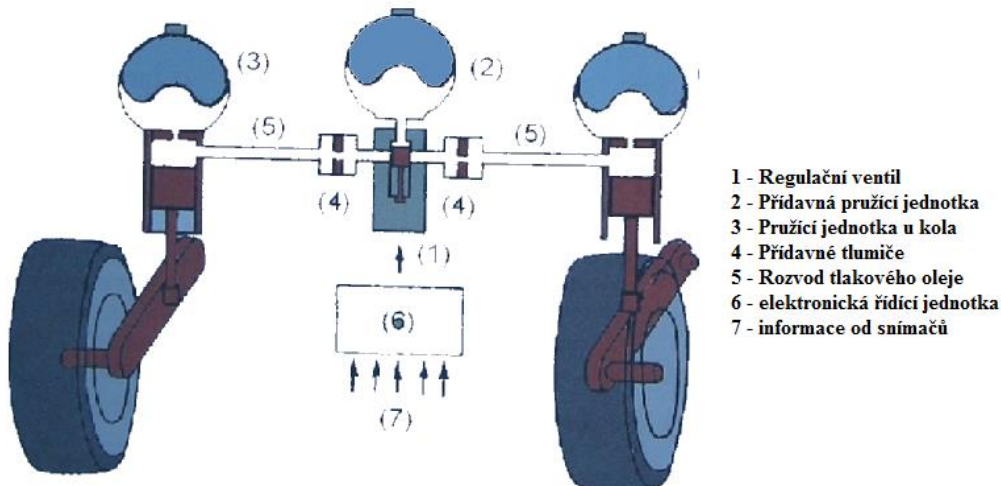
Hydropneumatické odpružení

Využívá pružící plyn s neměnnou hmotností, obvykle je to dusík. Tato pružící jednotka se používá u osobních vozidel typu Citroën, Tyto pružící jednotky nalezneme na všech čtyřech kolech. Řez pružinou je znázorněn obr.č XX . Tlumič je složen ze dvou polokoulí a pružnou pryžovou membránou nacházející se mezi nimi, V oblasti horní polokoule se nachází pružící plyn (Dusík) a v dolní polokouli se nachází tlaková kapalina. V pružící jednotce dochází k účinnému tlumení tudíž hydro-pneumatická pružina nevyžaduje žádný tlumič.

Priváděním tlakové kapaliny se automaticky reguluje světlá výška vozidel. Princip regulace závisí na změně objemu plynu v uzavřené pružící jednotce za jeho stálé hmotnosti. Tuhost pružiny se zvětšuje úměrně se zvyšujícím se zatížením.[4]

Hydropneumatický pružící systém s proměnou tvrdostí

Hydropneumatický systém je používán převážně u vozidel značky Citroën a má označení



Obr. 24– Hydro-pneumatický pružící systém[2]

Hydractive I či Hydractive II. Tento

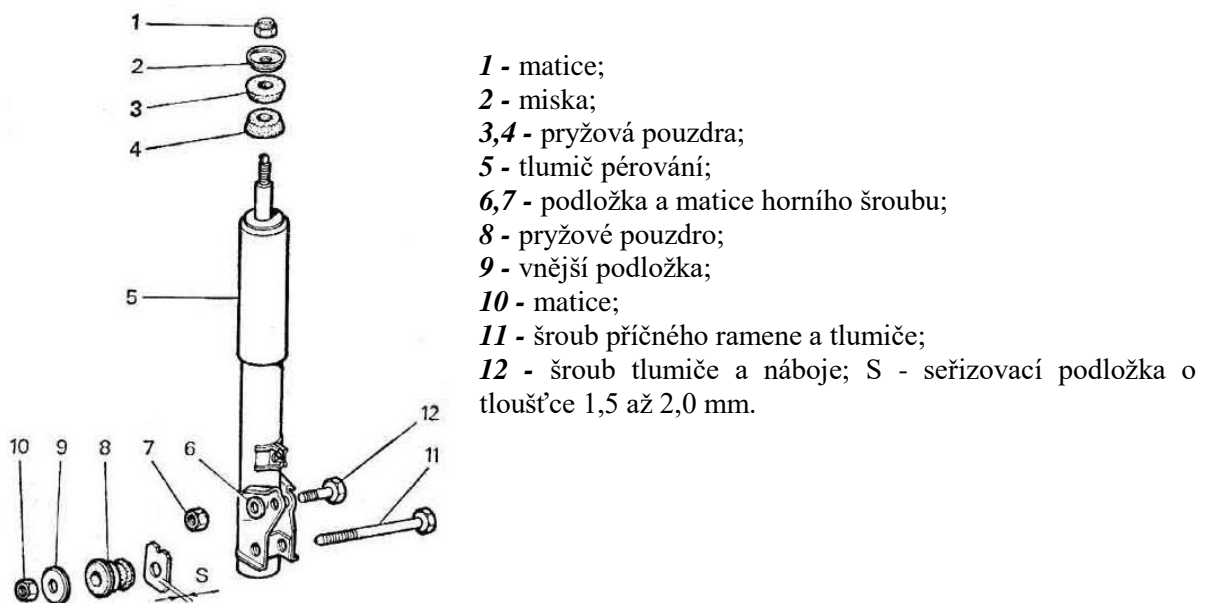
systém se liší v tom ,že každá náprava má ještě jednu v pořadí třetí pružící jednotku a další dva přidavné tlumiče. V hydraulickém okruhu se nachází řídicí jednotka ,která ovládá elektromagnetický ventil to umožňuje přechod mezi charakteristiky z „měkké“ na „tvrdou“ (nebo-li „sportovní“) a naopak. V hydraulickém okruhu jsou zařazeny dva regulátory tlaku, kde je každý určen pro jednu nápravu. Pět čidel které jsou umístěné na

vozidle dávají elektronické signály (informace) o průběhu a vlastnostech jízdy. Jsou jimi úhel a rychlost natočení volantu, okamžitou rychlost jízdy, velikost a rychlost náklonu karosérie, tlak v brzdové soustavě a pohyb akceleračního pedálu. Mezní stavy hodnot těchto veličin a jejich kombinací jsou uloženy v paměti, a při překročení těchto hodnot musí dojít ke změně charakteristiky pružící soustavy.

Na přístrojové desce může řidič trvale nastavit jeden ze zvolených režimů, kterými jsou buď samočinný a nebo tvrdý („sportovní“). Samočinný režim funguje velice rychle (v průběhu pěti seti sekundy) a plynule z toho vyplývá, že daná změna je téměř nepozorovatelná. Samozřejmostí je, že si soustava zachová i další vlastnosti hydropneumatického odpružení např. udržování (světlé výšky) nezávislé na jeho zatížení, přičemž má řidič možnost v určitém rozmezí tento rozměr nastavit. [2]

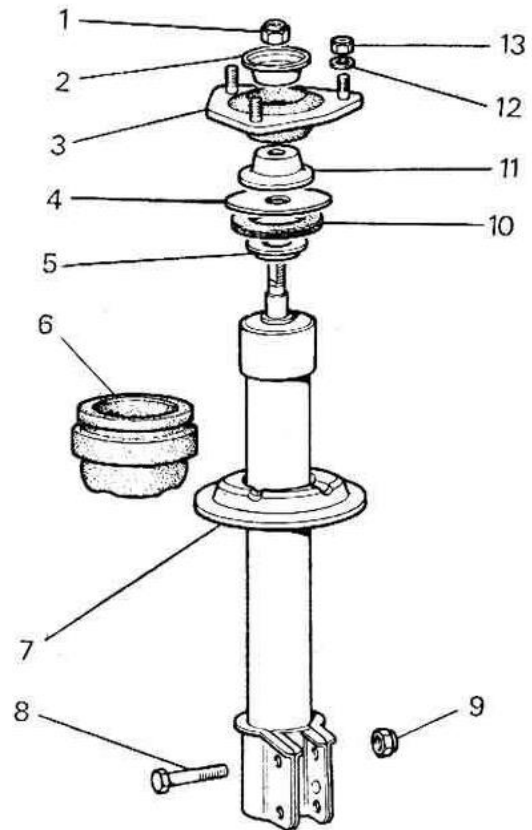
1.6. Tlumiče

Úkolem tlumičů je účinně tlumit vlastní kmity pružiny, vzniklé při přejezdu kola automobilu přes nerovnosti uvozovce a zabránit samovolnému rozkmitání karoserie ve svislém směru. Každé kolo na automobilu je vybaveno svým tlumičem který je umístěn mezi rámem a nápravou vozidla. V dnešní době jsou nejpoužívanější teleskopické dvojčinné kapalinové tlumiče které pracují v obou směrech, a to při pohybu nápravy od vozidla, tak i opačném. Princip fungování tlumičů tkví v přetlačování oleje z vnitřního prostoru tlumiče do druhého otvorem o určitém průřezu. Dle průřezu otvoru a tím tedy i škrcení průtoku oleje se určuje daná účinnost pro daný tlumič. [4]



Obr. 25 – Zadní tlumič pérování [4]

- 1 - matice tlumiče;
2 - miska;
3 - držák pryžového uložení;
4 - podložka;
5 - plastová podložka;
6 - pryžová opěrka vinuté pružiny;
7 - tlumiče pérování;
8,9 - přípevňovací šroub s maticí;
10 - pryžový kroužek;
11 - miska;
12, 13 - matice podložka;



Obr. 26 – Přední tlumič pérování[4]

1.6.1. Rozdělení tlumičů

- Kapalinové- Pracovní látkou zde je olej a prostoru na něm se nachází vzduch který je volně spojen s atmosférou
- Plynokapalinové – Pracovní látkou zde je opět olej ale v prostoru na něm se nenachází vzduch ale plyn (nejčastěji Dusík) který není spojen s atmosférou. V tlumiči se udržuje trvale určitý přetlak a tím se zabráňuje zavzdušnění daného tlumiče.

Konstrukce

Tlumič se skládá z jednoho či dvou plášťů, z čehož je prostor uvnitř vnitřního pláště pracovní.

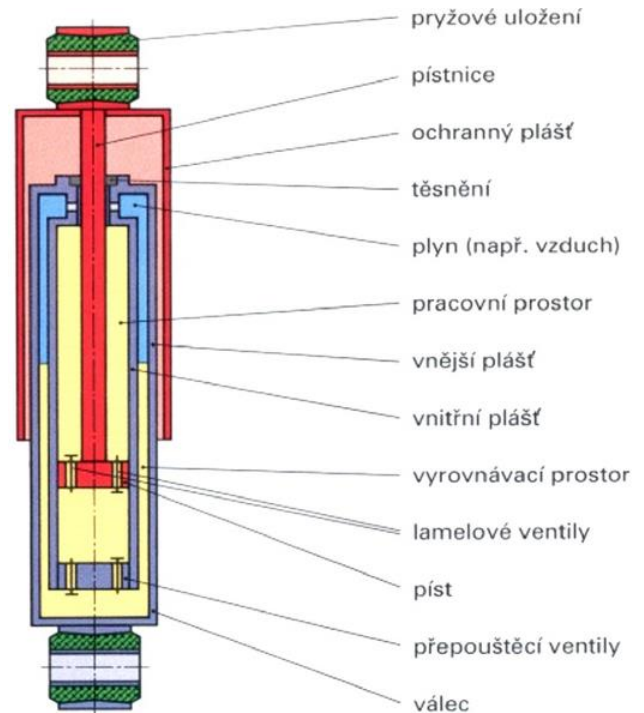
Dále je tlumič opatřen ochranným pláštěm.

Píst se pohybuje uvnitř pracovního pláště a je ovládaný pístnicí, spojenou s ochranným pláštěm. Otvory v pístu jsou obvykle samočinnými ventily. Odlišná účinnost tlumiče v jednotlivých směrech pohybu pístu je zajištěna různým počtem otvorů nebo jejich daným průřezem. Nachází-li se v tlumiči ještě další prostory, jsou od pracovního prostoru rovněž odděleny ventily. Tlumič je k vozidlu obvykle spojen kovopryžovými pouzdry, přičemž uspořádání je většinou takové, že s rámem nebo s karosérií je spojen ochranný plášť a s nápravou pak vnitřní případně i další plášť.[2]

Tlumiče kapalinové

Provedení je pouze jako dvouplášťové.

Pohybuje-li se náprava směrem ke karoserii je olej přetlačován z prostoru pod pístem do prostoru na pístem a to buď jedním ventilem či více ventily v pístu. Jelikož objem pracovního prostoru se zmenšuje o objem pístnice, je přebytečný olej vytlačován ventilem ve do tzv. Vyrovnávacího prostoru který se nalézá mezi vnitřním a vnějším pláštěm. Horní část vyrovnávacího prostoru je spojena s atmosférou malými otvory. Pohybuje-li se náprava směrem od karosérie přetlačuje olej z prostoru na pístem do prostoru pod pístem a současně se jeho množství doplňuje ventilem ve dnu nasávání z vyrovnávacího prostoru.[2]



Obr. 27 – Dvouplášťový hydraulický tlumič [2]

Tlumiče plynokapalinové

Jednoplášťový plynokapalinový tlumič

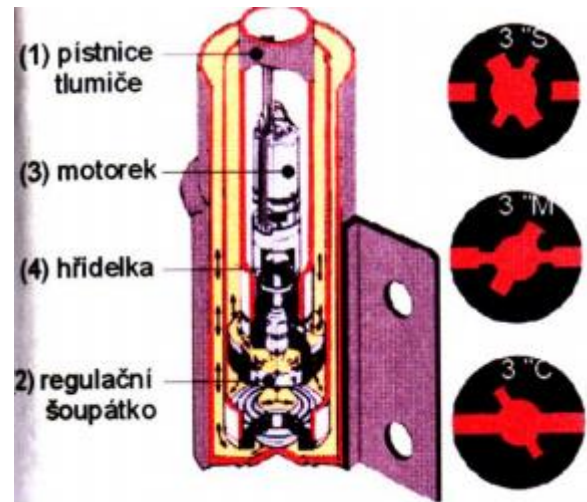
Tlak plynu u jednoplášťového plynokapalinového tlumiče se pohybuje v rozmezí 2 až 3 MPa (20 až 30 barů) a tudíž ho můžeme považovat za tlumič vysokotlaký. Vyrovnávací prostor u tohoto tlumiče není samostatný. Princip činnosti je naprosto stejný jako v předchozím případě.

Dvouplášťový plynokapalinový tlumič

Tlak dusíku nad hladinou oleje se pohybuje v rozmezí od 0,2 do 0,8 MPa (2 – 8 Barů) takže tento tlumič považujeme za nízkotlaký. Princip a konstrukce toho tlumiče jsou v podstatě stejné jako u dvouplášťového tlumiče kapalinového. Zásadní rozdíl tkví v tom, že prostor nad kapalinou je vyplněn plynem , nejčastěji dusíkem který není spojen s atmosférou.[2]

Elektronicky ovládaný tlumič

Vně pístu je umístěno šoupátko které je nastavované elektromotorem ovládaným elektronickou řídicí jednotkou. Řídicí jednotka zpracovává údaje přicházející od snímače zrychlení karosérie, snímače polohy řízení a snímače zrychlení kol, regulátoru světlé výšky vozidla, snímačů stavu zatížení. Účinnost tlumičů je dána stejně jako u běžných tlumičů průřezem otvorů či jejich počtem, kterými je olej přetlačován z jednoho vnitřního prostoru tlumiče do druhého. Otvory v pístu nejsou opatřeny ventily jak tomu bylo v předchozím



Obr. 28 – Elektronický tlumič se třemi variantami nastavení šoupátka.[2]

případě ale je zde tzv. šoupátko kterým jsou ovládané. Olej má možnost proudit dvěma směry a to horizontálním to je příčnými kanály a nebo vertikálně centrálním otvorem. Příčné kanály mohou být méně či více otevřeny či mohou být zcela uzavřeny.[2]

Elektronicky ovládaný tlumič má tři stupně regulace a to:

- Základní

Středový otvor je otevřen a prostřednictvím šoupátka je ještě otevřen příčný kanál. To způsobí, že průtok oleje je částečně škrten jelikož kanál umístěný v šoupátku má menší průřez.

- Komfortní

Tento typ regulace je často označován jako „Měkká“ regulace. Šoupátko je nastaveno do takové polohy, že příčný kanál je spojen otvorem s maximálním průřezem to zapříčiní, že píst klade na průtok oleje pouze minimální odpor.

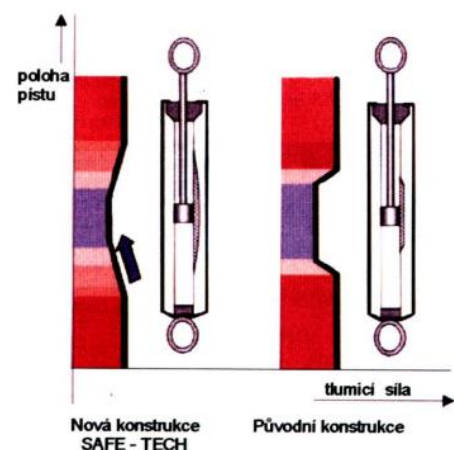
- Sportovní

Tento typ regulace je naopak označován jako regulace „Tvrdá“. Šoupátko je nastaveno do takové polohy, že uzavírá příčný kanál a olej proudí pouze a jen středovým otvorem.

Polohově citliví tlumič

Tento tlumič má stejnou funkci jako tlumič elektronický s tím rozdílem, že se zde nepoužívá elektronika. Belgická firma Monroe vyrábí tento tlumič pod označení Sensa-Trac a používá technologii polohového citlivého tlumení (Position Sensitive Damping – PSD).

Tlumič spadá do podskupiny nízkotlakých plynokapalinových tlumičů. Od klasického řešení se liší tak, že je zde proveden obtokový kanál.[2] Pohybuje-li se píst v této oblasti, je účinnost tlumiče



Obr. 29 – Tlumič s obtokovým kanálem[2]

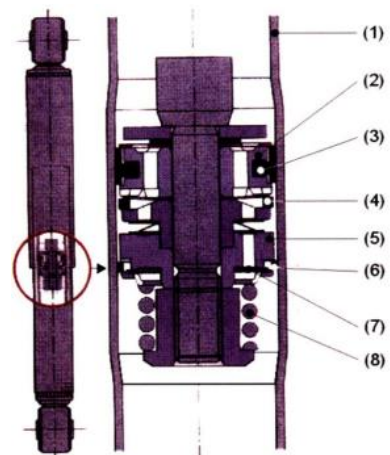
menší poněvadž část oleje proudí obtokem. V situaci ,že bude zdvih pístu značný (jízda po velmi nerovném terénu), bude se v okrajových oblastech pohybovat mimo obtokový kanál a tlumič bude mít větší účinnost.V tomto případě lze poznat ,že ve srovnání s předchozím typem (elektronicky ovládaným) , poskytuje za cenu nižší složitosti menší komfort obsluhy.

Zlepšený typ tlumiče SENSEA-TRAC

Tento typ má řadu změn a úprav, jednou z nich je úprava obtokové drážky. Došlo ke změně dosavadních délkových zakončení, které byly provedeny poměrně náhlými přechody na obou stranách, to se nahradilo přechody které jsou mnohem plynulejší.To má za následek povolnější přechod mezi střední oblastí, kde je tlumení měkčí (oblast komfortní) do oblasti okrajových kde tlumič pracuje tvrději (oblast kontroly). Tlumení se tímto stává progresivní.Další změna v pořadí se jednala v oblasti konstrukce ventilů. V původním provedení nastalo několik změn které se týká hmotnosti ta se snížila, celkové provedení tlumiče je jednodušší a jedna z hlavních změn ,že k původním svazku kotoučů z pružinové oceli byla doplněna pružina.Výsledkem se jeví rychlejší reakce tlumiče na nerovnosti vozovky a značné snížení hlučnosti provozu. U nového typu tlumiče bylo taktéž použito tlumící médium. Nový druh tlumičového oleje ,zaručuje tlumící účinky do -40°C a pouze 2,1 krát větší než při teplotě 120°C což bylo u starého modelu až 5,4 krát větší.[2]

Tlumič systému DCD (Displacement Conscious Damping)

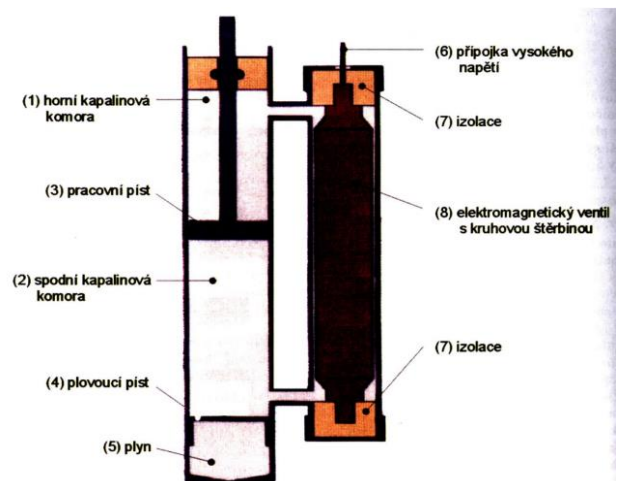
V určité míře má tento typ tlumiče podobný princip jako ten předchozí. Obtokový kanál v tomto tlumiče ale nenajdete, tento tlumič je opatřen pracovním válcem který má uprostřed větší průměr než na obou koncích. I v tomto případě je účinnost tlumiče při poloze pístu ve střední části válce menší než v případě,že se píst pohybuje v částech válce s menším průměrem. Firmou vyrábějící tento tlumič je Monroe jak bylo napsáno již dříve, nejčastější použití je u vozidel které jsou velkoprostorové (Ford Galaxy,VW Sharan) a značnou výhodou tvoří ,že se pro tento tlumič může použít i šikmá montáž.



Obr. 30 – Tlumič systému DCD[2]

Tlumič s regulovatelným obtokem

V tomto případě se jedná spíše o budoucí projekt, kde jeho základ tvoří tzv. „inteligentní olej“ který je zkoušený v laboratořích Bayer AG,Leverkusen.V tomto projektu se pracuje s jednoplášťovým plynokapalinovým tlumičem. Ovšem kapalina neproudí otvory v pístu nýbrž elektromagnetickým ventilem s kruhovou štěrbinou. Tento ventil spojuje oddělené vnitřní prostory tlumiče. Modulem vysokého napětí je řízená viskozita kapaliny ta se mění



Obr. 31 – Tlumič s regulovatelným obtokem[2]

v závislosti na změně intenzity elektrického pole. Z toho lze pak odvodit účinnost daného tlumiče. Tlumič není ovládán pouze v závislosti na pohybu kol ale taktéž na průběhu brzdění či naklonění karosérie v zatáčkách a v neposlední řadě také zatížením vozidla.

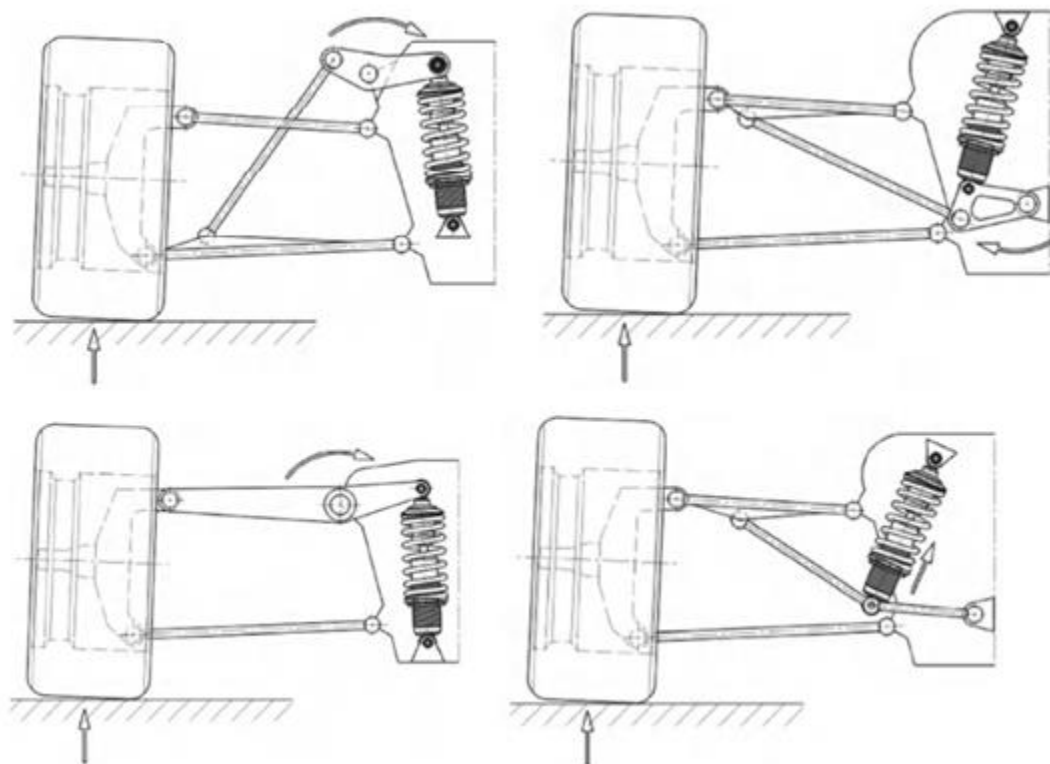
Po vytvoření elektrického pole, kuličky polymeru o velikosti $5\mu\text{m}$ se polarizují a vytvoří nad elektrodami řetězce. Ve zlomku sekundy se v závislosti na velikosti elektrického pole se mění nízká viskozita kapaliny. A téměř ihned po přerušení přívodu napětí se obnoví původní viskozita. Použitý olej je jako základ provozní kapaliny a je ekologicky neškodný, velmi dobře se snáší s jinými materiály a je nepatrně vodivý. Velkou výhodou je taktéž, že je stálý i při vysokých teplotách a dlouhých dobách provozu. I když víme, že nejsou známy žádné konkrétní údaje o systému je zřejmé, že pro vytvoření elektrického pole bude zapotřebí poměrně vysokého napětí, což by nejspíše mohlo působit určité problémy při instalaci na vozidle.[2]

Tlumič se samočerpacím účinkem

Tento tlumič se danou konstrukcí moc neliší má jí v podstatě klasickou jak tomu bylo v předchozích případech. Přečerpáním oleje uvnitř tlumiče se dosáhne udržení dané konstantní světlé výšky. Tlumič má tlumicí píst který je umístěn na duté pístnici. Uvnitř této pístnice nalezneme další píst který se pohybuje a přečerpává olej z nízkotlakého prostoru do vysokotlakého. V obou prostorech nalezneme jak olej tak i plyn které jsou od sebe odděleny membránou. [2]

3. Uspořádání jednotlivých částí odpružení sportovního vozu

3.1. Varianty přepákování



Obr. 32 – Varianty přepákování na sportovním vozidle[1]

Na obrázku 32 vidíme různé varianty způsobu převodu silových účinků z kola na tlumič. Variant je uspořádání nepřeborné množství ale konstruktér je téměř vždy omezen zástavbovým parametrem vozidla.

3.2. Možnosti technického uspořádání ---- Uspořádání odpružení na Formuli UWB 2016

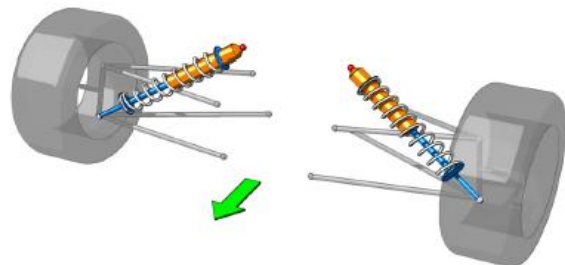
Vahadlo a Pushrod

Síly působící na kolo se musí převést co nejrovnoměrěji a bez velkých ztrát na tlumič (či pružinu), která sílu absorbuje. Vahadlo a pushrod jsou konstrukční prvky které nám zajišťují převod sil. Pushrod je připevněn k těhlici a druhým koncem k vahadlu které přenáší danou sílu na tlumič. Vahadlo je konstrukčně navrženo tak aby bylo nejlehčí, tuhé a otvory které slouží pro uchycení byli vůči kinematice vozu co nejlépe umístěny. Tento návrh má vliv na převod odpružení který vyjadřuje poměr stlačení pružiny vůči velikosti zdvihu kola. Tento poměr by se měl co nejvíce blížit hodnotě 1:1. Je velice důležité aby poměr na předním a zadním odpružení byl totožný z důvodu ovlivnění jízdních vlastností během naklopení. Osy pružiny a pushrodu mohou být vůči sobě různoběžné díky vahadlu. Vahadlo je silně zatížená součást z více stran jak od tlumiče tak od pushrodu (kola). SAKAC nebo-li kulové klouby zajišťují připojení pružícího prvku, pushrodu či táhla stabilizátoru k vahadlu.

3.2.1. Varianty umístění tlumičů na vozidle

a) Tlumiče umístěné přímo do Těhlice kola

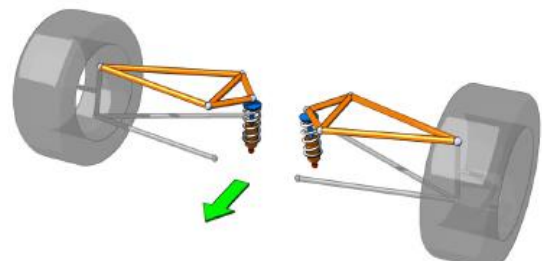
Je to jedno z nejstarších možností uložení tlumičů na formulových vozidlech. Nespornou výhodou je přenos sil které se přenášejí rovnou na tlumiče a není potřeba použití žádných dalších ramen či vahadel. Nevýhodou tohoto konstrukčního uspořádání je více, jelikož se tlumiče nachází mimo karosérii způsobují nežádoucí aerodynamický odpor. Další nevýhodou je, že při této konstrukci je zde velké omezení vůči rozchodu. [12]



Obr. 33 – Tlumiče připojené přímo do Těhlice kola [12]

b) Tlumiče uvnitř karosérie se svislou polohou

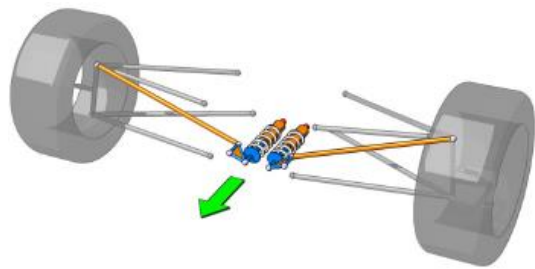
Toto konstrukční provedení bylo vymyšleno z důvodů velkých aerodynamických odporů a toto nové řešení tomu mělo zabránit. Tlumiče jsou totiž umístěny uvnitř karosérie kde jsou ukryty za kapotou vozidla tudíž nemají žádný aerodynamický odpor. Přenos sil probíhá přes horní páku tak aby byla síla převedena na tlumič. [12]



Obr. 34 – Tlumiče se svislou polohou [12]

c) Tlumiče s tažnou tyčí

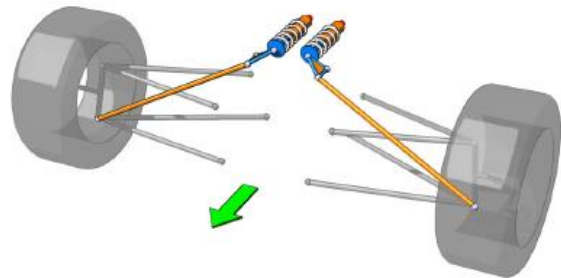
V tomto provedení vidíme, že jsou tlumiče rovnoběžně s osou jízdy. Tlumiče jsou umístěny ve spodní části vozidla a v tomto případě se pro přenos sil používá tyč tažná nebo-li PULL-ROD. Která s sebou přináší řadu výhod. Tažná tyč je připojena do horní části těhlice. Oproti tažné tyči (viz. Následující příklad), může mít menší průměr díky tažnému zatížení jelikož se nemusí počítat se vzpěrem. Díky umístění tlumičů ve spodní části vozidla se též posune celkové těžiště vozidla níž tudíž je vozidlo mnohem stabilnější. Riziko tohoto řešení spočívá v tom jsou-li tlumiče usazeny až pod podlahou vozidla hrozí poničení či narušení od vozovky. [12]



Obr. 35 – Tlumiče s tažnou tyčí[12]

d) Tlumiče s tlačnou tyčí

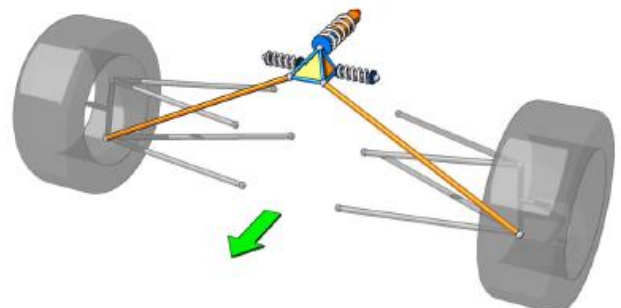
Tlačná tyč je připojena do spodní části těhlice od které se přenáší silové účinky na tlumič právě díky tlačné tyči a vahadla. Nevýhoda tlačné tyče jak již bylo řečeno je možnost vzniku vzpěru a tím pádem musí být tlačná tyč oproti tažné více robustnější, mimo jiné je i díky umístění tlumičů ve vrchní pozici vozidla se zvedne i těžiště což je nežádoucí. Jsou ale bezpečně uloženy a nehrozí poškození od vozovky. Tato metoda je v dnešní době nejvíce používaná. Proto si na ní ukážeme další příklady pro tuto verzi přepákování. [12]



Obr. 36 – Tlumiče s tlačnou tyčí[12]

e) Monoshock

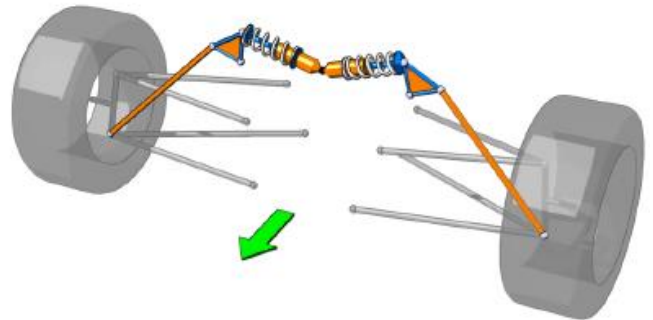
Odpružení vozidla je zařízeno pouze za pomoci jednoho tlumiče. Tento druh vypružení je velice náročný na konstrukci ale nese sebou mnohé výhody. Monoshock nemusí obsahovat samostatný stabilizátor jelikož dané konstrukční uspořádání již stabilizátor obsahuje a navíc se ušetří hmotnost použitím pouze jednoho tlumiče. [12]



Obr. 37 - Monoshock[12]

f) Dva tlumiče kolmé na osu jízdy v horizontální poloze

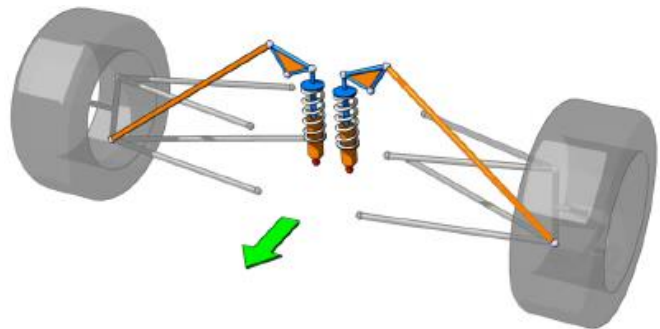
Toto uspořádání je nejvíce zastoupené ve formuli SAE díky tomu, že nezasahuje do oblasti kde má řidič nohy a toto já zároveň v pravidlech soutěže Formula SAE. Tuto variantu jsme taktéž použili na našem vozidle UWB 2016. [12]



Obr. 38 – Tlumič kolmé na osu jízdy[12]

g) Dva tlumiče kolmé na osu jízdyve vertikální poloze

Toto umístění má taktéž využití ve formuli. Jelikož dle pravidel musí být přední náprava před nohama řidiče a tím se vyskytne prostor pro takto uložené tlumiče. [12]



Obr. 39 – Tlumič kolmé na osu jízdy[12]

Stabilizátor

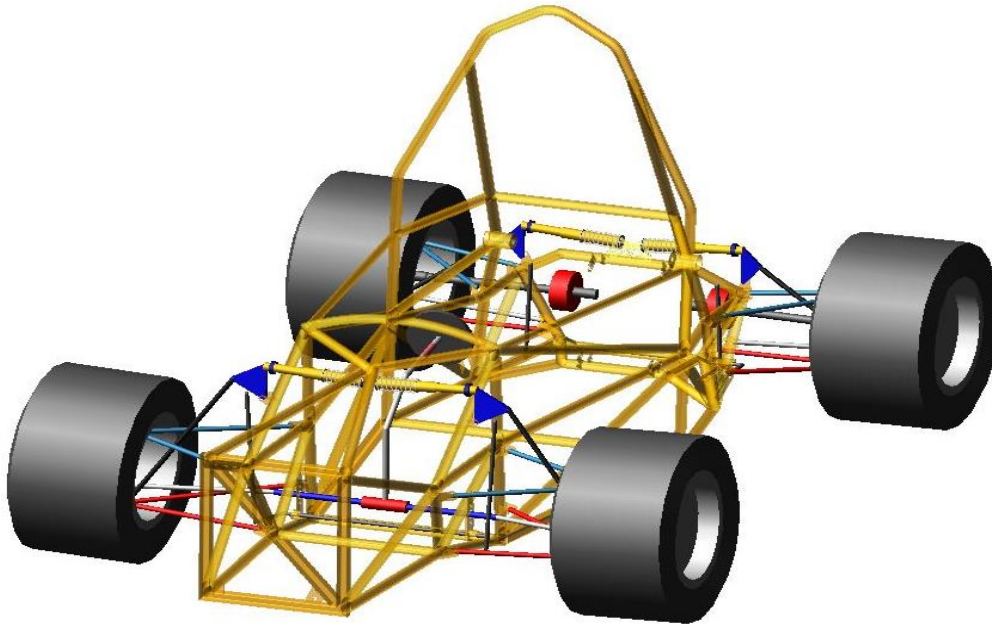
Stabilizátor slouží k tomu aby při odpružení levé strany vozidla došla k odlehčení vozidla na pravé straně tak aby došlo k rovnováze vozidla. Stabilizátor je složen z trubky a dvou ramen. Ramena jsou poté spojena s vahadlem pomocí kulových kloubů SAKAC. Stabilizátor je umístěn v rovině vahadla či je odkloněn o malý úhel aby se zamezilo ztrátám.



Obr. 40 – Stabilizátor [22]

4. Návrh systému odpružení na vozidle FSAE UWB2016

V této kapitole si rozebereme návrh odpružení na vozidle včetně rozboru daných funkčních částí ze které se dané odpružení skládá.



Obr. 41 – Model UWB 2016 v programu ADAMS

4.1. Návrh tlumičů

Na studentské formuli UWB2016 budou použity tlumiče které byli dodány od našeho sponzora ZF engineering. Tyto tlumiče se objeví velice často u závodních týmů FSAE. Dané tlumiče patří mezi ty úplně nejlepší které se vyskytují v tomto motorsportu. Velikou výhodou těchto tlumičů je jejich široká škála nastavení tlumících charakteristik. U těchto tlumičů se dá nastavit tlumení při stlačení a roztažení tlumiče či nastavení tuhosti pružin díky stavitelným maticím, dále je tu možnost si nastavit odolnost proti propružení k dorazu. Tyto funkce se regulují nastavitelným mechanismem z vnějšku tlumiče.

- Rozteč ok uložení tlumiče v nezátěženém stavu 215 mm
- Maximální stlačení 63,5 mm
- Hmotnost tlumiče bez pružiny 371 g



Obr. 42 Tlumiče ZF pro vůz UWB2016

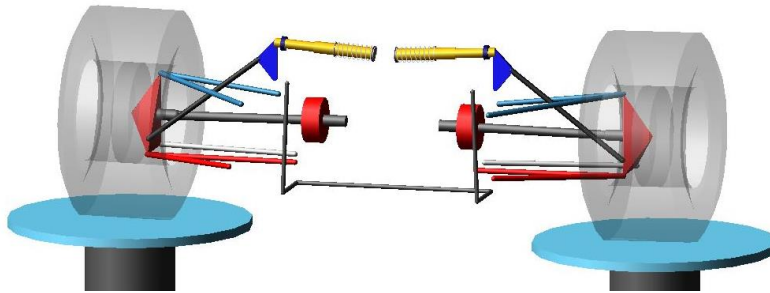
Návrh pružin

Návrh pružin byl veden typem tlumičů které zde byli použity. Vnitřní průměr tlumičů musel být větší než průměr tlumiče aby se tam mohl bez problémů nasadit. Dané jsme měli taktéž vnější průměr pružiny která závisel nám dobře opřela vůči dosedacím plochám na tlumičích. Po zkušenostech kolegů z týmu jsme zvolili tuhosti pružin v rozmezí 18N/mm až 28 N/mm které si necháme vyrobit. A po dalších testováních zvolíme optimální tuhosti dané pružiny a poté taktéž nastavení tlumiče vůči pružině.



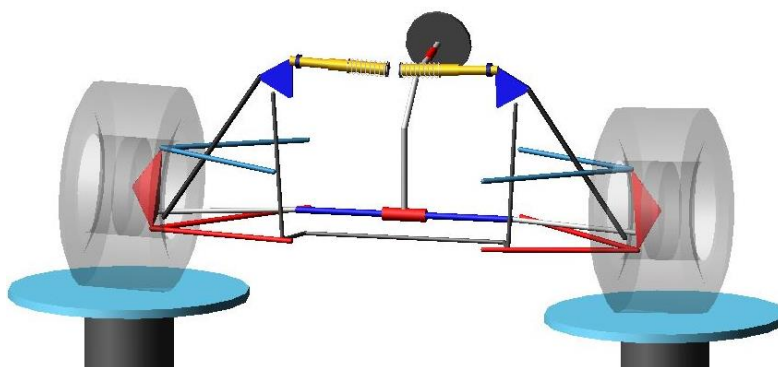
Obr. 43 – šroubovitá tlačná pružina[23]

Konstrukční uspořádání zadního přepákování



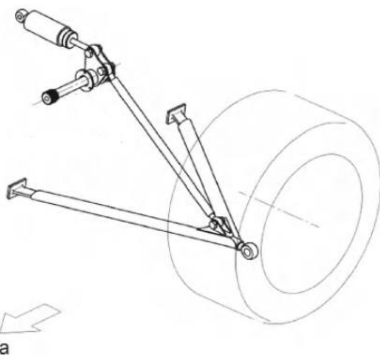
Obr. 44 – Konstrukční uspořádání zadního přepákování

Konstrukční uspořádání předního přepákování

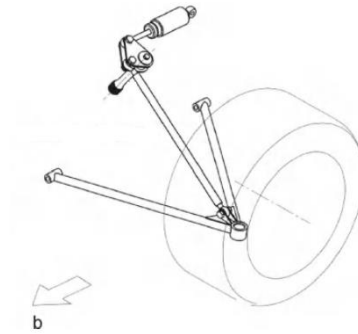


Obr. 45 – Konstrukční uspořádání zadního přepákování

Základní rozklad sil



Obr. 47 – Umístění tlumičů kolmo na osu jízdy



Obr. 46 – Umístění tlumičů rovnoběžně s osou jízdy

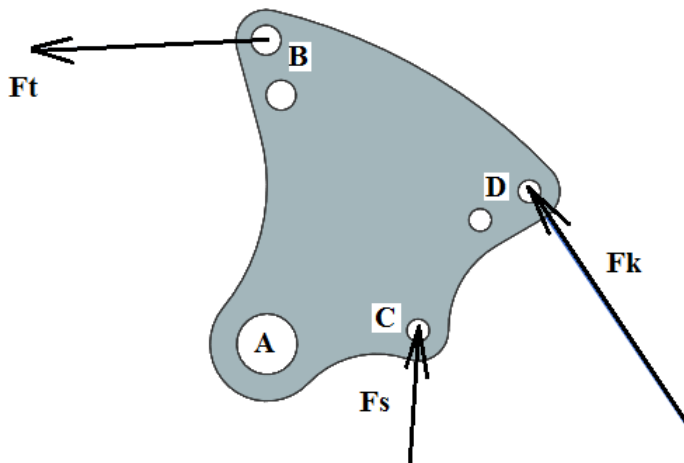
Na obrázku č.49 máme zobrazený přední vahadlo na které působí síly včetně otvorů které mají rotační vazby vůči připojeným elementům.

.Bod A vyskytující se na obrázku znázorňuje otvor pro uchycení vahadla k rámu. Bude se jednat o rotační vazbu která bude přenášet síly od kola či stabilizátoru na tlumič. Vahadlo bude přichycen k rámu pomocí šroubu a matice které nadále budou připevněny k příchytkám na rámu.

Bod B je otvor pro připojení tlumiče. Rotační pohyb tlumiče ve vazbě bude oproti vazbě A o dost menší.

Bod C je rotační vazba pro stabilizátor na vahadlo.

Bod D je rotační vazba na kterou bude působit největší zátěžná síla působící od kola.



Obr. 48 –Základní rozložení sil na vahadle

Ft- Síla působící na tlumič

Fs- Síla působící na stabilizátor

Fk- Síla působící od kola

A. Přípojná vazba k rámu

B. Přípojná vazba k tlumiči

C. Přípojná vazba k stabilizátoru

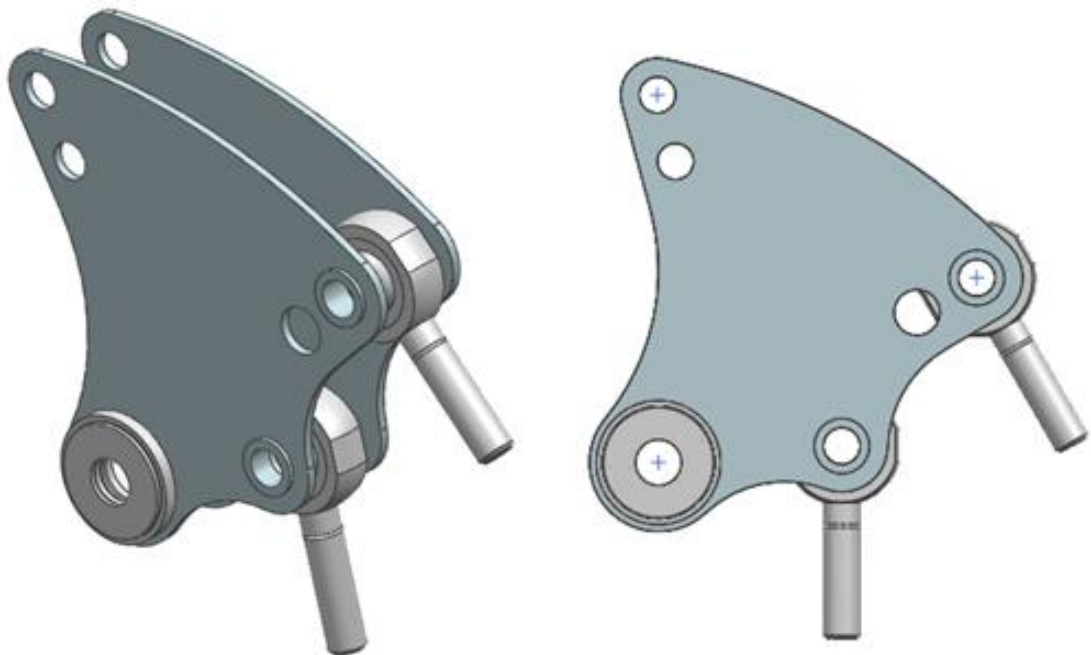
D. Přípojná vazba k Těhlici

4.2. Přepákování tlumičů

Přepákování má prakticky neomezené možnosti uspořádání, jediné čeho musíme vyhovět je plynulý převod sil a najít dostatečný prostor na vozidle. Tlumič který měl dostatečné místo uvnitř vozu má nespornou výhodu díky tomu, že přispívá k dobré aerodynamice vozidla. Upevňovací body na rámu by měli být umístěny tak aby dobře rozkládali přenos sil.

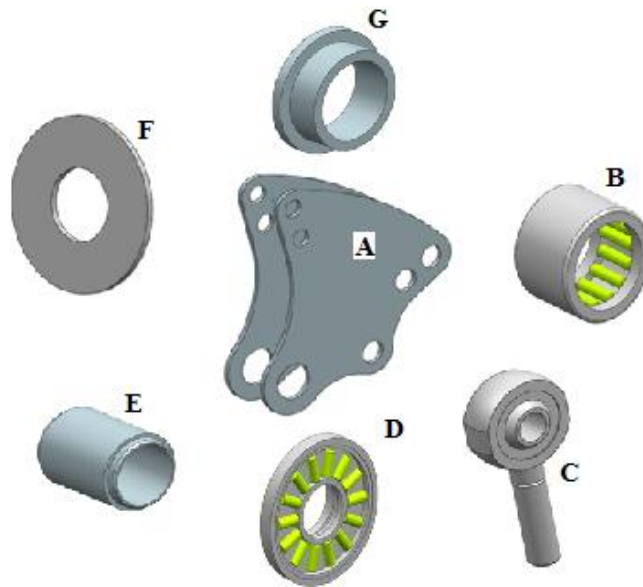
Návrh předního přepákování tlumičů

Konstrukční řešení pro přední přepákování



Obr. 49 – Sestava předního vahadla

Celé vahadlo je složeno z několika konstrukčních částí. Viz. Obr.50 Na obrázku lze vidět prvky které jsou součástí celého vahadla.



Obr. 50 – Jednotlivé součásti předního vahadla

A. Vahadlo

Hlavním prvkem vahadla je plech požadovaného tvaru. Je navržen tak aby byl co nejlehčí ale za to dostatečně tuhý pro přenos všech sil z kola na tlumič a zároveň na stabilizátor.

B. Radiální ložisko – Je ložisko je součást která přenáší radiální síly. (tj. síly působící kolmo na osu rotace)

C. SAKAC – Je součást která kloubovým spojem spojí ramena s vahadlem tak aby se mohli přenášet dané síly

D. Axiální ložisko – Je ložisko které přenáší axiální síly(tj. síla rovnoběžná s osou rotace)

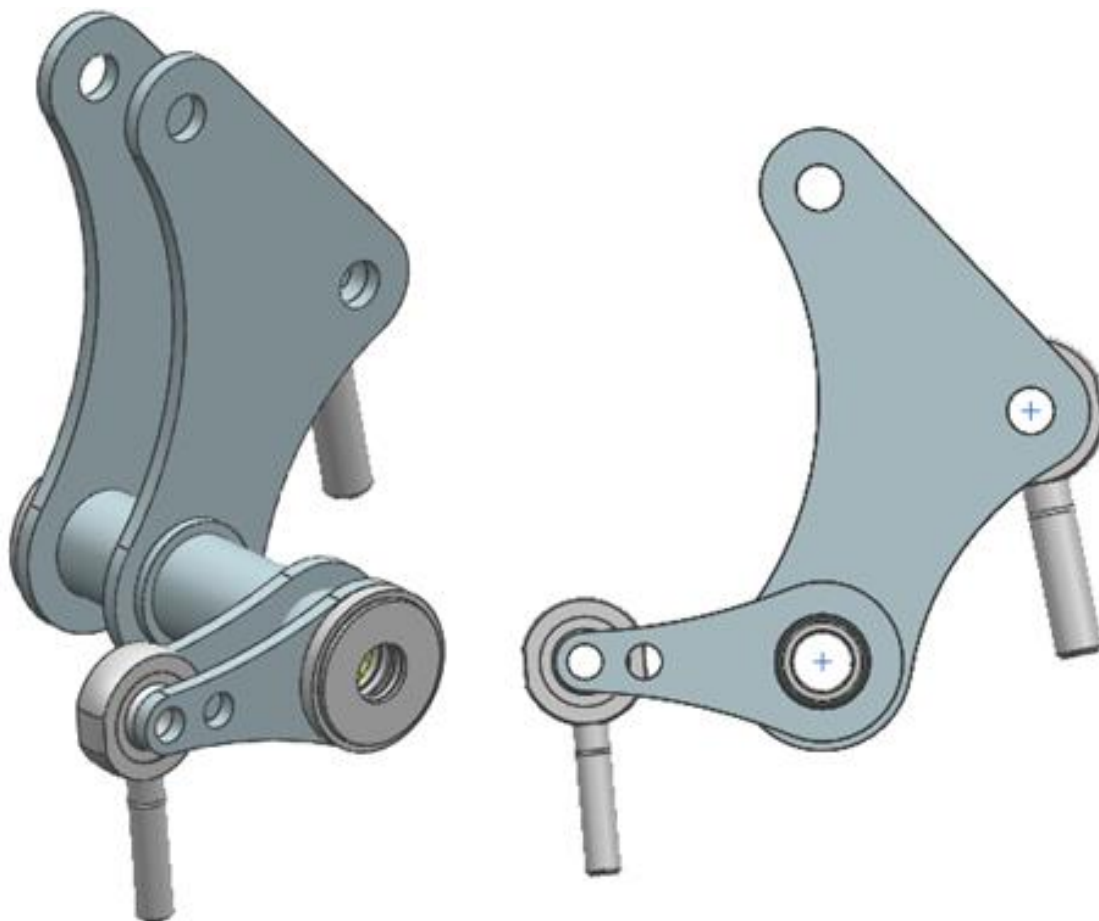
E. Domek ložiska -Dalším prvkem je domek pro ložisko který zároveň vymezuje vzdálenost mezi oběma plechy.

F. Podložka

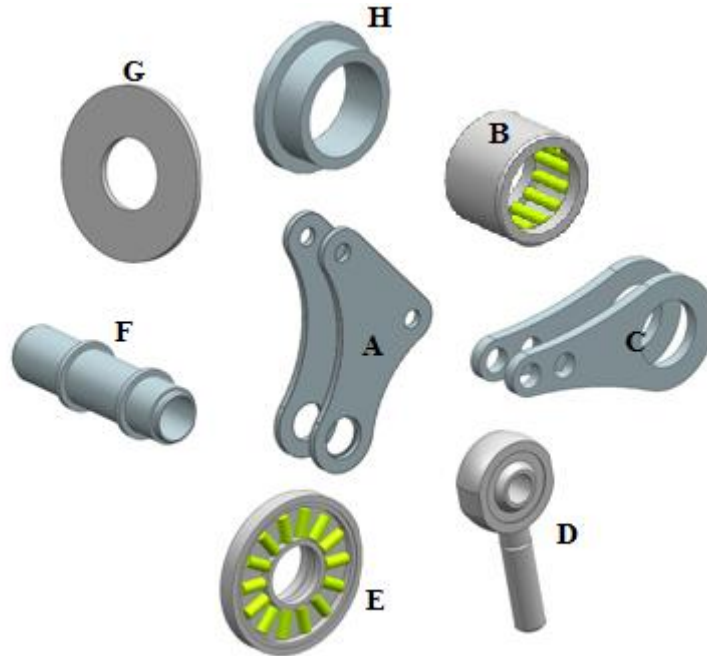
G. Vymezovací kroužek- je poslední část která se konstruovala byl vymezovací kroužek pro součást SAKAC 6 který má jiný rozměr tloušťky než SAKAC 8.

Návrh zadního přepákování tlumičů

Funguje na totožném principu jako přední přepákování. Snaží se přenést silové účinky z kola na tlumič popř. na stabilizátor. Je o poznání složitější než přední přepákování a to díky nedostatku prostoru z důvodu umístění motoru. Tudíž se musel zkonstruovat ještě jeden osamocený výpalek který bude opět přenášet sílu na stabilizátor.



Obr. 51 – Sestava zadního vahadla



Obr. 52 – Jednotlivé součásti zadního vahadla

A. Vahadlo na tlumič -

Hlavním prvkem vahadla je plech požadovaného tvaru. Je navržen tak aby byl co nejlehčí ale za to dostatečně tuhý pro přenos všech sil z kola na tlumič a zároveň na stabilizátor.

B. Radiální ložisko – Je ložisko je součást která přenáší radiální síly. (tj. síly působící kolmo na osu rotace)

C. Vahadlo na stabilizátor

D. SAKAC – Je součást která kloubovým spojem spojí ramena s vahadlem tak aby se mohli přenášet dané síly

E. Axiální ložisko – Je ložisko které přenáší axiální síly(tj. síla rovnoběžná s osou rotace)

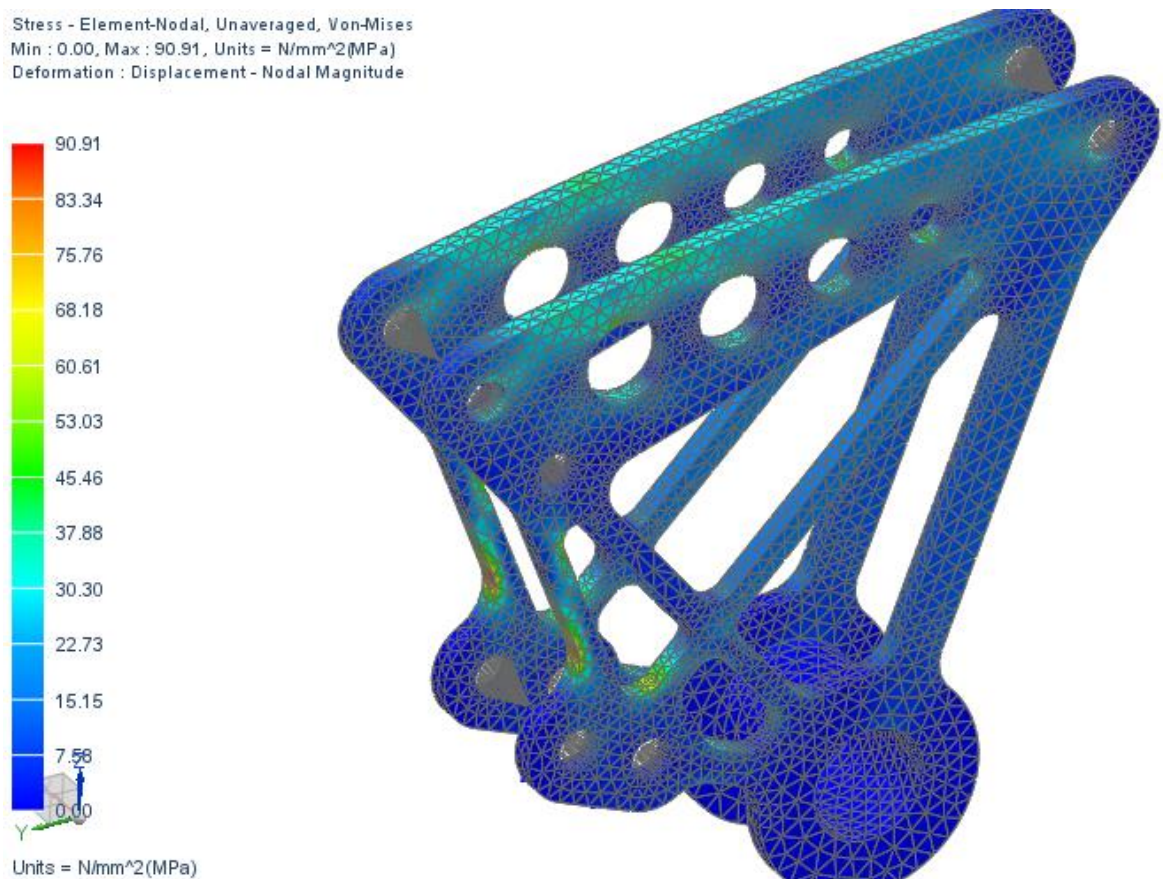
F. Domek ložiska -Dalším prvkem je domek pro ložisko který zároveň vymezuje vzdálenost mezi oběma plechy.

G. Podložka

H. Vymezovací kroužek - je poslední část která se konstruovala byl vymezovací kroužek pro součást SAKAC 6 který má jiný rozměr tloušťky než SAKAC 8

5. Pevnostní analýza MKP

Pro určení napětí a deformaci na součástech přepákování byl použit program Siemens NX 10. Výpočet se provádí pomocí MKP (Metoda konečných prvků). Tvar součásti byl pomocí optimalizace prvků upraven ve smyslu odlehčení ve střední části vahadla v podobě děr a trojúhelníkových otvorů, aby byl co nejlehčí a zároveň dostatečně tuhý pro přenos zatížení. Pomocí funkce 3DTetrahedral byla součást nasít'ována, byli použity elementy o velikosti 2,5 mm. V analýze byli použity funkce CELAS2 která nahrazuje funkci pružiny a pomocí funkce RB2 jsme mohli simulovat připojení ramen a rozložení jejich zatížení na celý obvod otvoru. Poté co byla součást zasít'ována a zajištěna pomocí vazeb, následovalo její zatížení. Zatížení bylo stanoveno pomocí orientačních výpočtů v programu ADAMS. Tato analýza se v následujícím kroku bude zpřesňovat podle výsledků experimentálního měření a dalších technických úprav. Vahadlo bylo zkoušeno pro 4 různé varianty uchycení. Které slouží pro manipulaci změnu jízdních parametrů způsobenou změnou přenosu sil v přepákování. Výsledkem pevnostních analýz je redukované napětí.



Obr. 53 – Analýza napětí (Von-Mises) na vahadle

6. Měření odpružení na vozidle

Zkouška pružin

Při kontrole u běžných vozidel se mnohdy kontrolují pouze vizuálně velká výhoda tohoto zkoušení že jej lze zkontrolovat i bez toho aniž by jsme museli dané pružiny vymontovat. Vizuálně kontrolujeme vzniklou korozi či jestli není některá pružina prasklá ale to se stává opravdu zřídka a pro velice stará vozidla s pokročilou korozi. Pro přesnější kontrolu a zkoušení pružin se musí pružiny demontovat a dále je zkusíme na speciálním přípravku který je zkonstruován pro měření daných pružin. Cílem měření je zjistit závislosti stlačení pružiny na zatěžující síle. Při zatěžování odečítáme hodnoty jejího stlačení v závislosti na její síle. Tyto hodnoty jsou následně zaneseny do grafu a zhodnoceny.

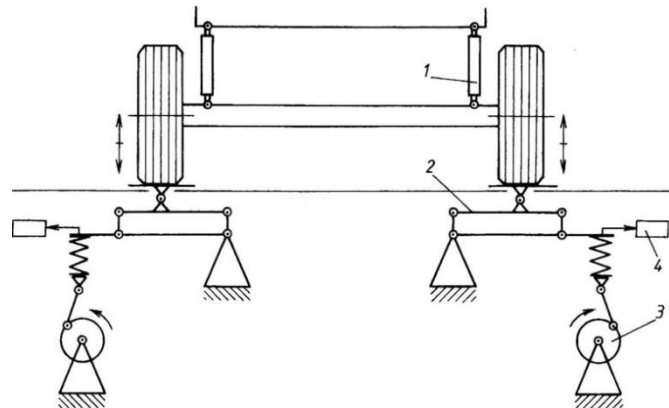


Obr. 54 – zkouška pružin [24]

Zkouška tlumičů

Tlumiče se mohou zkoušet samostatně a to tak ,že se demontují z vozidla tato metoda je zaměřena pouze na tlumiče jako jeden prvek tlumení a ne jako celkový segment použitý na odpružení vozidla. Z toho důvodu se zavádí měření které se provádí aniž by jsme demontovali tlumiče z auta a zkouší kompletně celé odpružení na vozidle. Toto zkoušení je velice rychlé což je značná výhoda.

Při zkoušení tlumičů se používají dva druhy testerů a to pasivní a aktivní tester. Pasivní tester pracuje na principu jednoho impulsu po kterém se karoserie daného vozidla „zhoupne“. Aktivní tester pracuje s pohybem plošiny která svým pohybem periodicky rozkmitá karosérii.



Obr. 55 – Testování tlumičů [25]

Analýza správné funkce odpružení

Cílem této analýzy je zjištění správné funkce odpružení na sportovním vozidle. Vyhodnocení statických testů (tzn. Auto se nepohybuje) odpružení, hodnotíme vzhledem k bezpečnosti vozidla a co nejlepší ovladatelnosti a říditelnosti formulového vozidla FSAE které by jsme nadále zjišťovali testováním pomocí dynamických měření na okruhu. Statické testování bylo prováděno v dílně na půdě Západočeské univerzity na Katedře konstruování strojů.

Parametry vozidla

Diagnostika odpružení byla zjišťována na sportovním vozidle UWB2016

Rok výroby: 2016

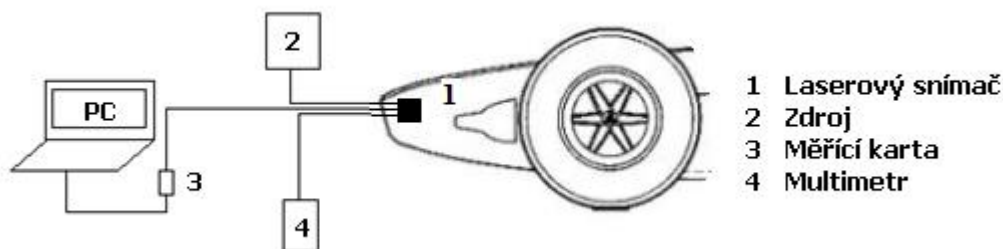
Motor: Honda CBR600RR

Hmotnost: 230 kg

6.1. Princip měření

Princip měření je obdobný jako u měření u pasivních testerů, kdy se snímá pohyb karosérie při průběhu propružení vozidla. Při tomto měření jsme použili laserový snímač vzdálenosti který nám dokáže zlepšit a zpřesnit kvalitu daného měření.

Schéma zapojení



Obr. 56 – Princip měření

Hodnoty

Osoba zodpovědná za propružení testovaného vozidla FSAE vážil 100 kg

Síla působící na rameni o délce 400 mm $l=400$ mm

Gravitační zrychlení $g=9,81$ m·s⁻².

Výpočet momentu a síly

Síla F

$$F = m \cdot g = 100 \cdot 9,81 = 981 \text{ N}$$

→ Na propružení vozidla se použila síla o velikosti 981 N

Moment M

$$M = F \cdot l = 981 \cdot 400 = 392400 \text{ N} \cdot \text{mm} = 392,4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

→ Na propružení vozidla bylo se spotřeboval moment o velikosti 392,4 N·m

Měřící pomůcky

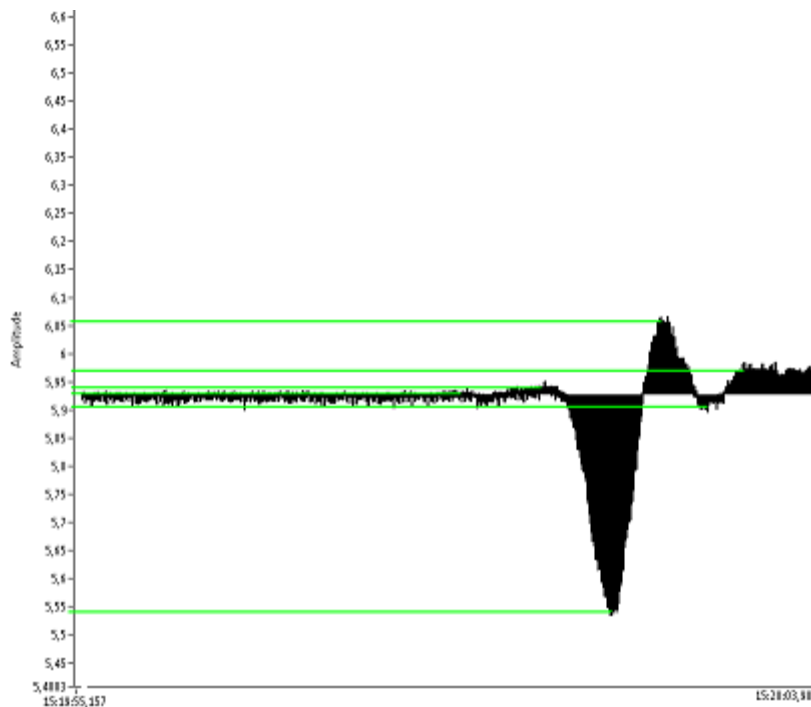
Notebook s programem LabVIEW s měřicí kartou
Laserový snímač vzdálenosti
Fotoaparát (či telefon s vestavěným fotoaparátem)
Svinovací metr
Multimetr



Obr. 57 – Laserový snímač teploty

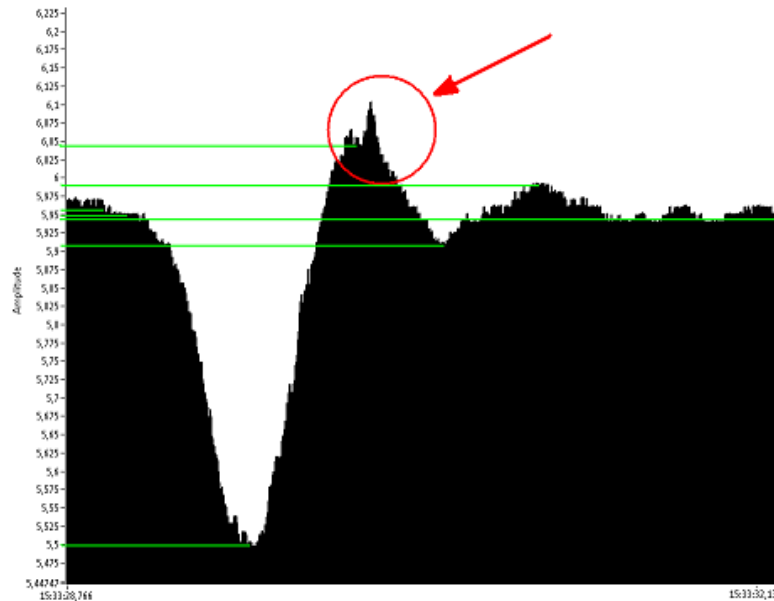
6.1.1. Průběh měření

Laserový snímač vzdálenosti včetně kabelů byl upevněn na karoserii formulového vozidla pomocí lepicí pásky. Spuštění programu LabVIEW a zjištění správného spárování laserového snímače s počítačem při propružení vozidla. Ověření získaných dat. Celková kontrola byla provedena pomocí zapojeného multimetru. Vozidlo bylo namáháno kolegou a získané údaje byly uloženy. Průběh jednoho cyklu měření měl trvání zhruba 4 sec. Bylo provedeno měření na levém předním tlumiči. Hodnoty získané v průběhu měření byly graficky zaznamenány pomocí programu LabVIEW viz. obr. (58, 59, 60). Grafický záznam nám určuje změnu napětí v závislosti na čase. Získané hodnoty z těchto grafů byly zapsány do tabulky 1 a v následujícím kroku přepočítány dle závislosti $U = f(x)$ a to na pohyb karosérie formulového vozidla v mm viz. tab. 2. Na obr. 61 jsou graficky znázorněny hodnoty pohybu karosérie.



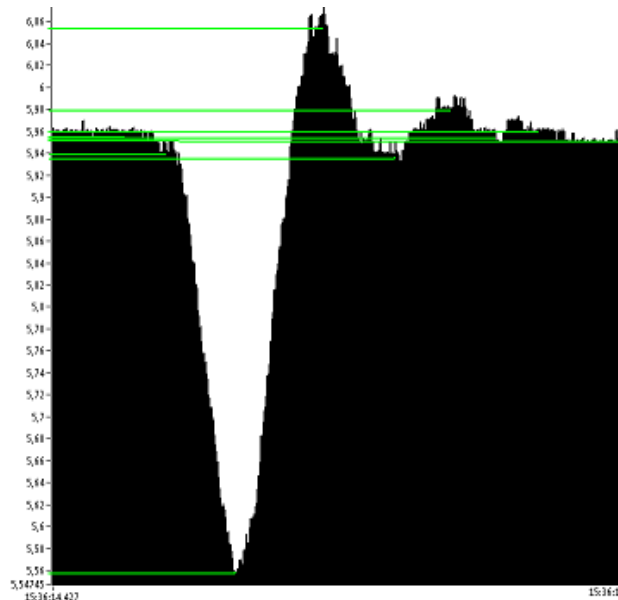
Obr. 58 – První měření

Na obrázku 58 je vidět grafický průběh měření pomocí programu LabVIEW. Vodorovná osa X nám představuje čas měřený v sekundách a svislá osa Y nám představuje hodnotu napětí ve Voltech. Zelené linie jsou pomocné linie pro zřetelnější odečítání hodnot napětí z grafů.



Obr. 59 – Druhé měření

Na obrázku 59 je vidět grafický průběh měření pomocí programu LabVIEW. Vodorovná osa X nám představuje čas měřený v sekundách a svislá osa Y nám představuje hodnotu napětí ve Voltech. V červeném kroužku je vidět chybová hodnota která byla s největší pravděpodobností způsobena chybovou komunikací měřícího zařízení s PC. Při odměřování tuto hodnotu vynecháme z důvodu negativního ovlivnění průběhu pohybu karoserie.

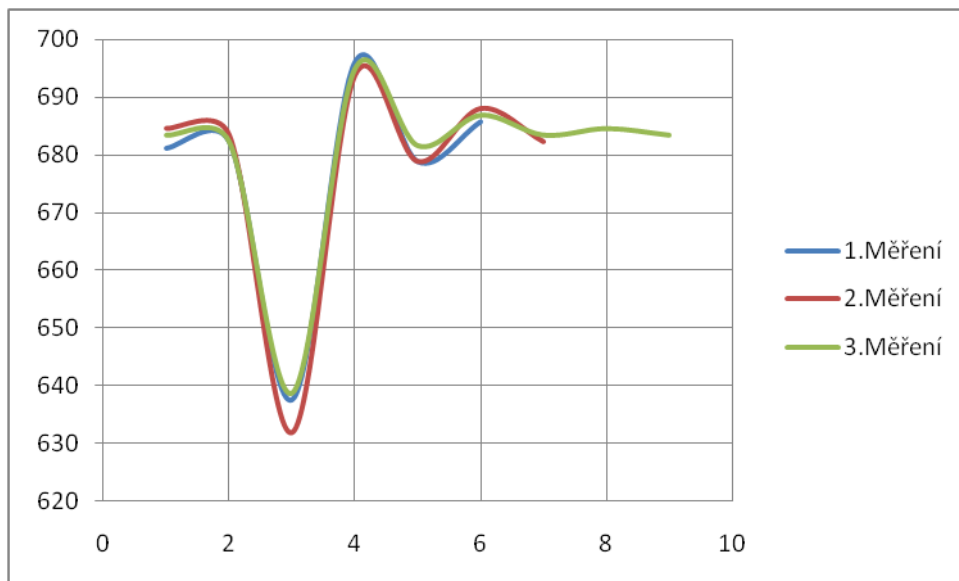


Obr. 60 – Třetí měření

Na obrázku 60 je vidět grafický průběh měření pomocí programu LabVIEW. Vodorovná osa X nám představuje čas měřený v sekundách a svislá osa Y nám představuje hodnotu napětí ve Voltech. Zelené linie jsou pomocné linie pro zřetelnější odečítání hodnot napětí z grafů. Nepravidelnost grafu je způsobena EMC rušením (Elektromagnetická komptabilita) která byla s největší pravděpodobností způsobena napájecím zdrojem či okolními výrobními stroji. ani pomocí nastavených filtrů v aparatuře jsme tomuto jevu v grafickém zobrazení nezabránili. Umístění snímače je ve výšce 680 mm nad zemí. A počáteční napětí je 5,93V.

Hodnoty	1.Měření		2.Měření		3.Měření	
	U [V]	X [mm]	U [V]	X [mm]	U [V]	X [mm]
1.	5,93	681,12	5,96	684,56	5,95	683,41
2.	5,94	682,26	5,95	683,41	5,94	682,26
3.	5,55	637,54	5,5	631,81	5,56	638,69
4.	6,06	696,02	6,04	693,73	6,05	694,88
5.	5,91	678,82	5,91	678,82	5,93	681,58
6.	5,97	685,7	5,99	688	5,98	686,85
7.			5,94	682,26	5,95	683,41
8.					5,96	684,56
9.					5,95	683,41

Tab. 1- Tabulka hodnot



Obr. 61 – Graf pohybu karoserie

Ze závislosti $U = f(x)$ vyplývá, že $\frac{5,93}{681} = 8,7 \cdot 10^{-3}$

6.1.2. Kontrolní měření

Laserový snímač je umístěn ve vzdálenosti 680 mm a displej multimetru ukazuje hodnotu napětí 6,14 V. Displej multimetru zobrazuje průběh napětí při propružení vozidla. Záznam hodnot napětí proběhl za pomoci videozáznamu kde byly zapsány hodnoty do tabulky 3 a dále byla vytvořena závislost $U = f(x)$ na prokmit karosérie. Hodnoty těchto údajů byli zaneseny do tabulky 4 a graficky znázorněny v grafu 64.

X [mm]	U [V]
680	6,14

Tab. 2 – Naměřené hodnoty



Obr. 62 - Multimetr

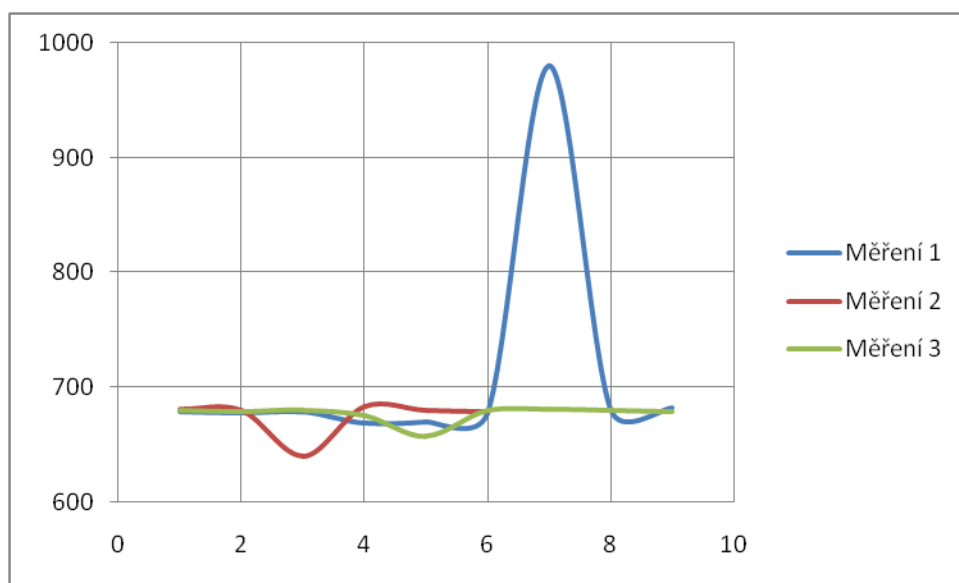
Hodnoty	1.Měření	2.Měření	3.Měření
	U [V]	U [V]	U [V]
1.	6,32	6,34	6,33
2.	6,31	6,33	6,32
3.	6,32	5,97	6,33
4.	6,23	6,36	6,29
5.	6,24	6,33	6,13
6.	6,31	6,32	6,33
7.	6,33		6,34
8.	6,34		6,33
9.	6,35		6,32

Tab. 3 – Tabulka hodnot napětí získaných z videozáznamu

Hodnoty	1.Měření		2.Měření		3.Měření	
	U [V]	X [mm]	U [V]	X [mm]	U [V]	X [mm]
1.	6,12	678,97	6,14	681,18	6,13	680,07
2.	6,11	677,86	6,13	680,07	6,12	678,97
3.	6,12	678,97	5,77	640,2	6,13	680,07
4.	6,03	669	6,16	683,4	6,09	675,64
5.	6,04	670,11	6,13	680,07	5,93	657,92
6.	6,11	677,86	6,12	678,97	6,13	680,07
7.	6,13	980,07			6,14	681,18
8.	6,14	681,18			6,13	680,07
9.	6,15	682,29			6,12	678,97

Tab. 4 – Hodnoty pohybu karosérie

Po zhodnocení všech naměřených hodnot bylo zjištěna určitá nepřesnost která měla velký vliv na výsledky a celkové naměřené hodnoty jsou díky těmto nepřesnostem značně zkreslené. Tudíž se hodnoty změřené touto metodou dají použít pouze orientačně při popisu karoserie ve svislém směru při jejím pružení.



Obr. 63 – Grafy z videí

7. Závěr

Úvodní kapitola této bakalářské práce se věnovala popsání funkce odpružení na osobních automobilech včetně objasnění pojmů kmitání, odpružená a neodpružená hmota na vozidle. V následující části byla zpracována historie odpružení na povozech, která se nadále rozvíjela a inovovala, až se dostala do dnešní podoby.

Nevhodně zvolené tlumiče pérování, zvláště v oblasti sportovních vozů, způsobují na nerovné vozovce zvýšené pohyby karoserie a kol, kdy jsou tím dány velké dynamické změny v zatížení kola. To má vliv velký na brzdnu dráhu, říditelnost a „čitelnost“ ve směrové chování vozidla, dále pak rovněž zvyšují opotřebení dalších dílů souvisejících se zavěšením kol, valivý odpor kol, zvýšené opotřebení pneumatik, snížení stability včetně vyšší spotřeby paliva. Z výše uvedených důvodů je tedy zřejmé, že správnou volbou a kvalitou tlumičů pérování je ovlivněna bezpečnost provozu sportovního vozidla.

Následujícím bodem práce byla analýza druhů přepákování a jejich rozbor v závislosti na umístění jednotlivých součástí na formulovém monopostu. Zde jsou taktéž popsány jednotlivé součásti jako je vahadlo, pushrod, stabilizátor apod. Dále jsou zde také rozbor umístění tlumičů vůči ose jízdy a ty jsou, buď rovnoběžné nebo kolmé s touto osou.

Po rozboru typů přepákování bylo možné plynule přejít k samotnému návrhu přepákování pro vůz UWB2016. Při tomto návrhu se vycházelo ze základního rozkladu sil ze kterého se brala úvaha pro zkonstruování pevnostní analýzy metody konečných prvků (MKP) a s tím spojená aplikace zatížení a vytvoření vazeb v pevnostní analýze pomocí programu Siemens NX10.

Posledním částí této práce bylo objasnění testování pružin a tlumičů a s tím spojená jejich správná funkce. Měření bylo realizováno pomocí laserového paprsku který dokáže tuto měřící metodu zpřesnit. Šlo o zjištění odchylky pohybu karoserie po aplikaci zatížení silou.

Hlavním přínosem této bakalářské práce bylo zkonstruování návrhu předního a zadního přepákování, což přispělo k výrobě součásti předního a zadního vahadla pro studentský projekt Formula SAE pro letošní vůz UWB2016.

8. Seznam použité literatury

- [1] TRZESNIOWSKI, M., Rennwagentechnik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2008
- [2] JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B., ČUPERA, J: Automobily – Podvozky. Brno, 2007
- [3] ČUPERA, J., ŠTĚRBA, P.: Automobily – Diagnostika motorových vozidel I. Brno, 2007
- [4] VLK, František, *Podvozky motorových vozidel*. Nakladatelství vlk, 2006.
- [5] Příručka opraváře automobilů J. Klůna-J. Košek a kol., vydalo SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., Spálená 51, 113 02 Praha 1 1990

Publikace na internetu

- [8] Historické Vozidlo: [online] 2016. [cit. 2016-03-16] Dostupné z www: <http://s159.photobucket.com/user/Uff-da/media/HRBB/01crestmobile.jpg.html>
- [9] Crest mobile: [online] 2016. [cit. 2016-03-16] Dostupné z www: [http://www.steamcar.net/georgeregister/rsz_1900_mobile_ray_morey_1%20\(1\).jpg](http://www.steamcar.net/georgeregister/rsz_1900_mobile_ray_morey_1%20(1).jpg)
- [10] Odpružení vozidla, Automagazín: [online] 2016. [cit. 2016-04-15] Dostupné z www: <http://www.tipcars.com/magazin-co-mozna-nevite-o-svem-automobilu-odpruzeni-podvozkou-2dil-7403.html>
- [11] Pružiny, Učební text: [online] 2016 [cit. 2016-02-20] Dostupné z www: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241BOZEK/publikace/2009/2009_02_0_01.pdf
- [12] SKOVAJSA, M, *Návrh a optimalizace podvozku formule SAE*, [diplomová práce]. Plzeň: Západočeská univerzita, Fakulta strojní, 2011.
- [13] Graf závislosti síly na poměrném stlačení: [online] 2016 [cit. 2016-04-16] Dostupné z www: <http://www.mitcalc.com/doc/springs/help/cz/springstxt.htm>
- [14] Lineární pružina: [online] 2015. [cit. 2015-10-16] Dostupné z www: [//0101.nccdn.net/1_5/23b/245/181/linear-compression-springs.png](http://0101.nccdn.net/1_5/23b/245/181/linear-compression-springs.png)
- [15] Lineární a progresivní: [online] 2016. [cit. 2015-12-16] Dostupné z www: http://www.racingline-na.com/uploads/4/5/2/7/45270257/s785766349422290359_p42_i1_w369.jpeg
- [16] Listová pružina: [online] 2016. [cit. 2016-01-08] Dostupné z www: <http://www.listovapera.eu/index.php?id=p-32>
- [17] Listová pružina na vozidle: [online] 2016. [cit. 2016-03-22] Dostupné z www: http://www.autolexicon.net/obr_clanky/tuha_naprava_004.jpg
- [18] Šroubovitá pružina: [online] 2016. [cit. 2016-04-11] Dostupné z www: http://motofocus.cz/media/file/_old/UserFiles/Image/KYB%20pruziny/1.jpg
- [19] Šroubovitá pružina na vozidle: [online] 2016. [cit. 2016-04-18] Dostupné z www: https://student.sps-prosek.cz/~salato08it/maturita_web/images/uhlovanaprava.jpg
- [20] Tlumiče: [online] 2016. [cit. 2016-08-14] Dostupné z www: <http://www.elmot.cz/doraz-predniho-tlumice-skoda-favorit-felicia--0.jpg>

- [21] Tlumiče: [online] 2016.[cit.2016-08-18] Dostupné z www:
<http://www.montako.cz/img/tazna.jpg>
- [22] Stabilizátor: [online] 2016.[cit.2016-04-03] Dostupné z www:
http://provenwicked.com/product_images/31_Web_RRSwitchBlade_6.jpg
- [23] Šroubovitě pružiny na FSAE: [online] 2016.[cit.2016-05-05] Dostupné z www:
<http://www.essexparts.com/imagecache/productLarge/FSAESprings.jpg>
- [24] Zkoušení Pružin: [online] 2016.[cit.2016-03-09] Dostupné z www:
<http://labormachine.cz/wp-content/uploads/2011/08/spring-test.jpg>
- [25] Zkoušení tlumičů: [online] 2016.[cit.2016-04-03] Dostupné z www: https://eluc.kr-lomoucky.cz/uploads/images/17136/content_obr02.JPG

Seznam obrázků

Obr. 1 – Tlumiče vozidla UWB2016.....	8
Obr. 2– Historické vozidlo [8].....	9
Obr. 3– Crest mobile[9].....	10
Obr. 4– Kmitání[3]	11
Obr. 5–Odpružená a neodpružené hmota[3].....	12
Obr. 6– Systém odpružení vozidla[3]	12
Obr. 7 – Graf závislosti síly na poměrném stlačení[13]	15
Obr. 8 – Lineární pružina[14]	15
Obr. 9 – Progresivní pružina (A) a Lineární pružina(B) [15].....	16
Obr. 10 – Listová pružina[16].....	16
Obr. 11 – Listová pružina použitá na vozidle s tuhou nápravou[17].....	17
Obr. 12 – Vlnutá pružina[18].....	17
Obr. 13 – Vlnutá pružina [19].....	17
Obr. 14 – Zkrutná tyč na vozidle[2]	18
Obr. 15 – Zkrutná tyč na vozidle[2]	18
Obr. 16 – Pryžový silentblok [4]	18
Obr. 17 – Pryžová pružina[20]	19
Obr. 18 – Pryžová pružina s charakteristikou zatížení[4].....	19
Obr. 19 – Plynové pružiny[4]	20
Obr. 20 – Plynové pružiny[21]	20
Obr. 21 – Vlnovcová a Vaková pružina [4].....	21
Obr. 22 – Vzduchové pružiny na automobilu[4]	21
Obr. 23 – Hydropneumatická pružící jednotka Citroën[4].....	22
Obr. 24– Hydropneumatický pružící systém[2]	22

Obr. 25 – Zadní tlumič pérování [4]	23
Obr. 26 – Přední tlumič pérování[4]	24
Obr. 27 – Dvouplášťový hydraulický tlumič [2]	25
Obr. 28 – Elektronický tlumič se třemi variantami nastavení šoupátka.[2]	26
Obr. 29 – Tlumič s obtokovým kanálem[2].....	26
Obr. 30 – Tlumič systému DCD[2]	27
Obr. 31 – Tlumič s regulovatelným obtokem[2]	27
Obr. 32 – Varianty přepákování na sportovním vozidle[1]	28
Obr. 33 – Tlumiče připojené přímo do Těhlice kola[12].....	29
Obr. 34 – Tlumiče se svislou polohou[12]	29
Obr. 35 – Tlumiče s tažnou tyčí[12]	30
Obr. 36 – Tlumiče s tlačnou tyčí[12].....	30
Obr. 37 - Monoshock[12]	30
Obr. 38 – Tlumič kolmé na osu jízdy[12].....	31
Obr. 39 – Tlumič kolmé na osu jízdy[12].....	31
Obr. 40 – Stabilizátor [22]	31
Obr. 41 – Model UWB 2016 v programu ADAMS	32
Obr. 42 Tlumiče ZF pro vůz UWB2016.....	32
Obr. 43 – šroubovitá tlačná pružina[23]	33
Obr. 44 – Kontstrukční uspořádání zadního přepákování.....	33
Obr. 45 – Konstrukční uspořádání zadního přepákování	33
Obr. 46 – Umístění tlumičů rovnoběžně s osou jízdy.....	34
Obr. 47 – Umístění tlumičů kolmo na osu jízdy.....	34
Obr. 48 –Základní rozložení sil na vahadle	34
Obr. 49 – Sestava předního vahadla	35
Obr. 50 – Jednotlivé součásti předního vahadla	36
Obr. 51 – Sestava zadního vahadla	37
Obr. 52 – Jednotlivé součásti zadního vahadla.....	38
Obr. 53 – Analýza napětí (Von-Mises) na vahadle	39
Obr. 54 – zkouška pružin [24]	40
Obr. 55 – Testování tlumičů [25].....	40
Obr. 56 – Princip měření.....	41
Obr. 57 – Laserový snímač teploty	42
Obr. 58 – První měření	42
Obr. 59 – Druhé měření	43

Obr. 60 – Třetí měření	43
Obr. 61 – Graf pohybu karoserie	44
Obr. 62 - Multimetr.....	45
Obr. 64 – Grafy z videí	46

Seznam tabulek a příloh

Tab. 1- Tabulka hodnot.....	44
Tab. 2 – Tabulka hodnot napětí získaných z videozáznamu	45
Tab. 3 – Hodnoty pohybu karosérie.....	46

Přílohy vřité do vazby

Příloha č. 1 – Bodové ohodnocení soutěže Formula SAE

Příloha č. 2 – Výrobní výkres

PŘÍLOHA č. 1

Bodové ohodnocení soutěže FSAE

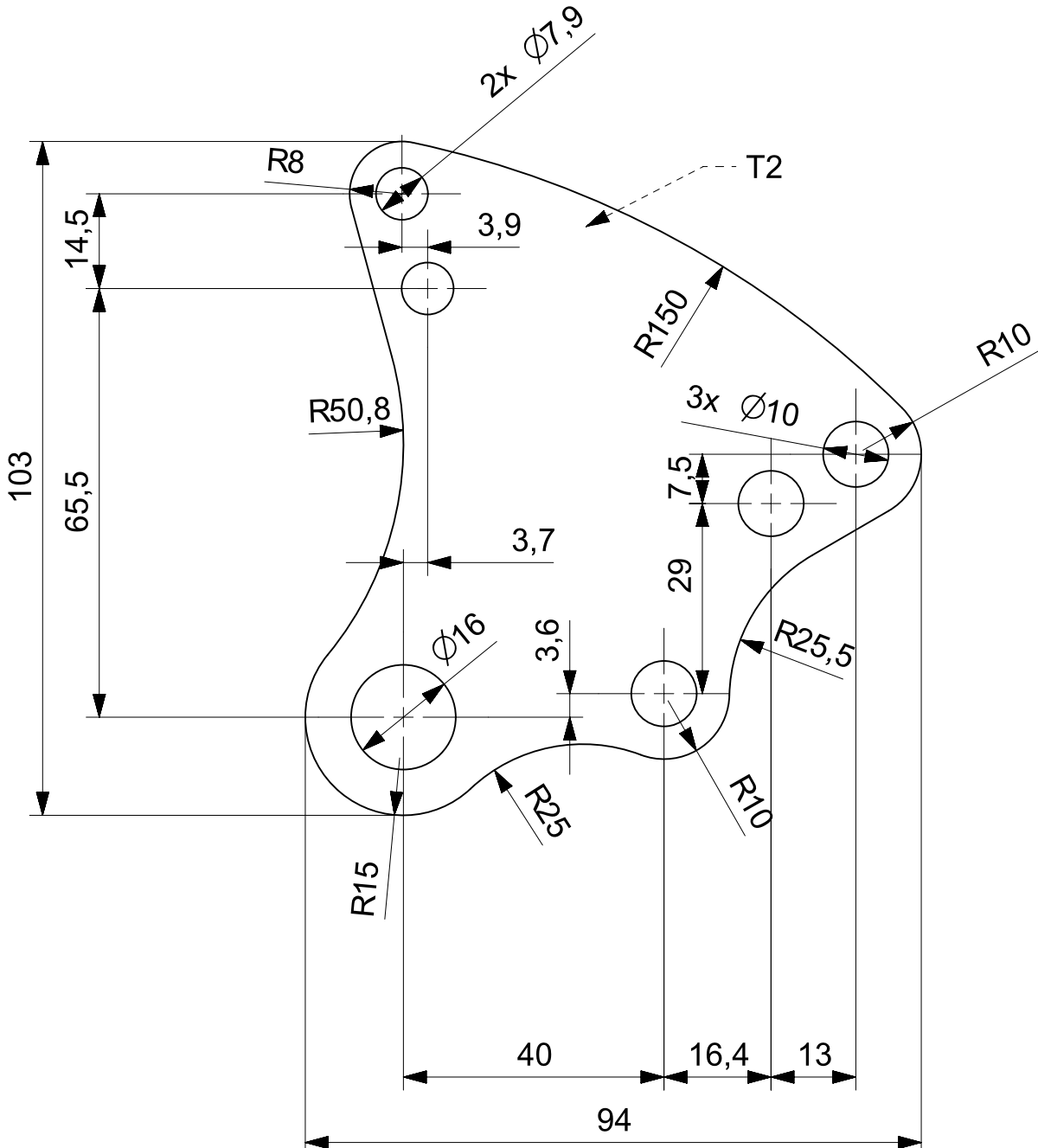
Bodové hodnocení soutěže FSAE	
Statické zkoušky	
Název disciplíny	Maximální možný počet
Prezentace	75
Cílem prezentace je zhodnotit schopnost týmu jak by dokázala prodat svůj projekt s vyzdvíhnutím všech konstruktérských možností či inovací.	
Engineering Design	150
V této disciplíně se hodnotí koncept celého vozidla FSAE z hlediska konstrukce a z hlediska designu. Nejvíce bodů získá ten který splní všechny konstruktérské požadavky a dále zaujme svými inovacema.	
Analýza ceny	100
Tato disciplína hodnotí poměr mezi cenou a vlastnostmi daného vozidla.	
Dynamické zkoušky	
Akcelerace	75
Při této disciplíně se hodnotí čas za který vozidlo ujede 75 m z pevného startu.	
Skid-Pad	50
Je trať ve tvaru čísla 8. Hodnotí se čas a celková mobilita včetně jízdních vlastností.	
Autocross	150
Je jízda trati ohraničená kuželi. V tomto úkolu se měří čas s penalizacemi za sražení kuželů a dále celková ovladatelnost a manévrovatelnost vozidla.	
Endurance	300
Nejvíce bodově hodnocená disciplína, kde se musí ujet trať v délce 22 km a na této trati se musí vystřídat 2 řidiči. Opět se tu měří čas a celková spolehlivost vozu.	
Spotřeba palíva	100
Hodnotí se zde spotřeba palíva v průběhu závodu Endurance.	
Body celkem	1000

Tab. 5 – Bodové hodnocení soutěže FSAE

PŘÍLOHA č. 2


Výrobní výkres vahadla

3,2




	☐	P2 - 105x95	15 150		0,100			
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name		
Kreslil / Drawn by	8.3.2016	Frühauf Ondřej		
Prezkoušel / Checked by				
Schválil / Approved by				
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature




UNIVERSITY OF WEST BOHEMIA



Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved

Poznámka / Note:

 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file Vyrobní_vykres_vahadla	Projekt / Project:	Meritko / Scale 1:1
	Soubor-vykres / DRW-file Vyrobní_vykres_vahadla	C.sestavy / Assembly No.	
Nazev / Title Vahadlo		Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.
		List / sheet no.	Pocet listu / sheets
		1	1

4

3

2

1

A

B

C

D