



**FAKULTA
ŠROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

**Měření torzní tuhosti nosné konstrukce
vozu Formula Student**

**Chassis torsional stiffness measurement on
Formula Student vehicle**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Robert CAVOS

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD ŠROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Nikita Astraverkhau

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Cavos** Jméno: **Robert** Osobní číslo: **457615**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Teoretický základ strojínského inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Měření torzní tuhosti nosné konstrukce vozu Formula Student

Název bakalářské práce anglicky:

Chassis torsional stiffness measurement on Formula Student vehicle

Pokyny pro vypracování:

- Zprovozněte stav na měření torzní tuhosti pro vůz formule student
- Proveďte měření na několika vybraných vozech
- Proveďte analýzu výsledků se zaměřením na identifikaci oblastí nosné konstrukce, které mají největší vliv na výslednou celkovou torzní tuhost nosné konstrukce

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Nikita Astraverkhau, ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **11.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce:

Ing. Nikita Astraverkhau
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vitek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

27.4. 2018

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Měření torzní tuhosti nosné konstrukce vozu Formula Student“ vypracoval samostatně pod vedením panem Ing. Nikitou Astraverkhaou, s použitím odborné literatury, uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne 11. 7. 2018

.....

Robert CAVOS

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Nikitovi Astraverkhau za vedení mé bakalářské práce, konzultace a cenné připomínky při jejím zpracování.

Dále bych rád poděkoval členům týmu studentské formule CTU CarTech za veškerou pomoc, konzultace a poskytnuté materiály pro tuto práci. Zejména děkuji panu Bc. Lukášovi Pacoňovi, za poskytnuté materiály ze simulací při návrhu nosné konstrukce a cenné konzultace. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Michalovi Slanýmu, za pomoc při úpravě přípravku pro měření torzní tuhosti.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Robert CAVOS
Název BP:	Měření torzní tuhosti nosné konstrukce vozu Formula Student
Anglický název:	Chassis torsional stiffness measurement on Formula Student vehicle
Rok:	2018
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojího inženýrství
Obor studia:	2301R000 Studijní program je bezoborový
Ústav:	Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel
Vedoucí BP:	Ing. Nikita Astraverkhau
Konzultant:	Ing. Nikita Astraverkhau
Bibliografické údaje:	počet stran 45 počet obrázků 33 počet tabulek 7 počet příloh 17
Klíčová slova:	Torzni tuhost, Kroutici moment, Karoserie, Nosná konstrukce, Formula Student, Experimentální měření, FS.09, FS.10
Keywords:	Torsional stiffness, Torque, Chassis, Bodywork, Formula Student, Experimental measurement, FS.09, FS.10
Anotace:	Tato bakalářská práce se zabývá zprovozněním experimentálního měření torzní tuhosti několika vozů Formula Student. V práci je obsažena řešerše problematiky karosérií a různé metody měření jejich torzní tuhosti. Dále byla na základě experimentálního měření provedena analýza nosné konstrukce vozů FS.09 a FS.10.
Abstract:	The purpose of this thesis is to put into a operation torsional stiffness measurement rig and perform a measurement on Formula Student vehicles FS.09 and FS.10. It further contains a detailed analysis of results with focus on identyfing of the chassis area, which has the highest impact on the vehicles final torsional stiffness. It also contains an overwiev of several methods of measuring torsional stiffness.

OBSAH

PROHLÁŠENÍ	3
PODĚKOVÁNÍ.....	4
ANOTAČNÍ LIST	5
OBSAH	6
SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN.....	8
1. ÚVOD	9
1.1. FORMULA STUDENT (SAE).....	10
2. TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1. KAROSÉRIE VOZIDEL.....	11
2.2. ZATÍŽENÍ SAMONOSNÉ KAROSÉRIE	13
2.3. STATICKÉ (VERTIKÁLNÍ) ZATÍŽENÍ KAROSÉRIE.....	13
2.4. ZATÍŽENÍ KRUTOVÉ (TORZNÍ)	14
2.5. TORZNÍ TUHOST	15
2.6. HODNOTY VELIKOSTÍ TORZNÍ TUHOSTI KAROSÉRIE	15
2.7. VLIV TORZNÍ TUHOSTI KAROSÉRIE NA JÍZDNÍ VLASTNOSTI CELÉHO VOZU.....	16
2.8. METODY MĚŘENÍ TORZNÍ TUHOSTI.....	17
2.8.1. MĚŘENÍ TORZNÍ TUHOSTI POMOCÍ RÁMU ZAVĚŠENÉHO NA ŘETĚZECH.....	17
2.8.2. METODA MĚŘENÍ TORZNÍ TUHOSTI KAROSÉRIÍ AUTOMOBILŮ WINSTON CUP.....	20
2.8.2.1. KONCEPCE LINEÁRNÍHO ŠROUBOVÉHO ZVEDÁKU	20
2.8.2.2. NÁVRH ÚCHYTNÉHO PŘÍPRAVKU.....	21
2.8.2.3. MĚŘENÍ TORZNÍ TUHOSTI A ANALÝZA NEJISTOT	23
2.8.3. MĚŘENÍ TORZNÍ TUHOSTI POMOCÍ PŘÍPRAVKU NA OTOČNÉM KLOUBU.....	25
3. PRAKTICKÁ ČÁST	26
3.1. ZPROVOZNĚNÍ ZKUŠEBNÍHO PŘÍPRAVKU NA MĚŘENÍ TORZNÍ TUHOSTI	27
3.2. VSTUPNÍ DATA ZE SIMULACE V SOFTWARE HYPERWORKS POMOCÍ MKP	29
3.3. POSTUP MĚŘENÍ	31
3.3.1. UCHYCENÍ VOZU DO ZKUŠEBNÍHO PŘÍPRAVKU	31
3.3.2. ZPŮSOB PROVEDENÍ MĚŘENÍ.....	33
3.3.2.1. FS.09	33
3.3.2.2. FS.10	36
4. ZÁVĚR	40
4.1. ZHODNOCENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE VOZU FS.10.....	41
4.2. ZHODNOCENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE VOZU FS.09.....	42
4.3. NÁPRAVA CHYB PRO DALŠÍ MĚŘENÍ.....	42
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43



SEZNAM OBRÁZKŮ	44
SEZNAM GRAFŮ.....	44
SEZNAM TABULEK	44
SEZNAM PŘÍLOH.....	45

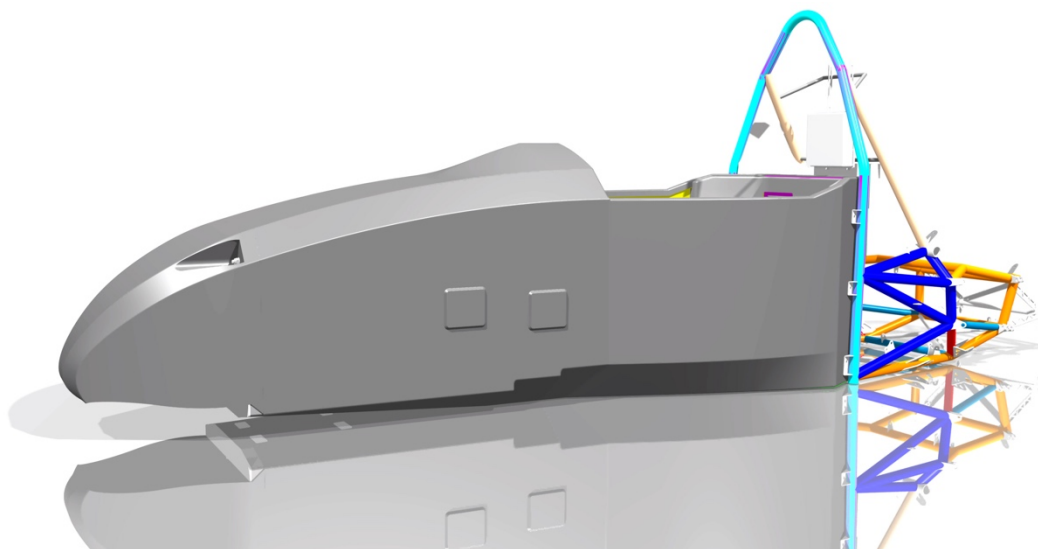
SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Symbol	Význam	Jednotky
F	Síla	[N]
R	Reakce od síly F	[N]
L	Vzdálenost mezi úchytkoměry	[mm]
T, T _K , M _k , τ	Kroutící moment	[Nm]
α, β, φ, ϕ, θ	Úhel natočení	[°]
δ	Výchylka	[mm]
C _k , K	Torzní tuhost	[Nm/°]

1. Úvod

Bavíme-li se o části automobilu jako je karosérie, bavíme se o jedné z nejdůležitějších částí automobilu. Jedná se o část, která je nosnou konstrukcí celého vozu a její torzní tuhost se podílí na rozložení zatížení pod jednotlivými koly. Má tedy vliv na jízdní vlastnosti a v neposlední řadě na bezpečnost celého automobilu, kdy je potřeba v případě nehody, aby se karosérie vozu dostatečně deformovala. Karosérie spojuje zbylé části automobilu. Je v ní uchycen motor s hnacím ústrojím, přední a zadní nápravy. V případě automobilu je ke karosérii připevněno například osvětlení vozu, veškerý interiér, jako jsou sedačky, zasklení vozu atd. V případě vozu Formula Student je ke karosérii připevněno veškeré příslušenství pro aerodynamiku, jako je přední a zadní přítlačné křídlo, difuzor atd. [1]

Od roku 2013 používá tým nosnou konstrukci vlastního návrhu i výroby. Nosná konstrukce se skládá z kompozitního monokoku, který je vyroben z uhlíkového vlákna sendvičové konstrukce a v zadní části se skládá z trubkového rámu z vysokopevnostní oceli, který je svařen metodou TIG. Tyto dvě části jsou spojeny pomocí šroubového spoje. Jedním z cílů této práce je určení torzní tuhosti této konstrukce. Dále je v této práci uveden stručný přehled metodiky měření torzní tuhosti karoserií automobilů. Monokok neboli sendvičová karosérie se řadí mezi nejtěžší karosérie. [2]



Obr. 1-Nosná konstrukce vozu FS.10

1.1. Formula Student (SAE)

Formula Student je mezinárodní soutěž technických univerzit, která vznikla na konci sedmdesátých let ve Spojených státech. Cílem této soutěže a hlavním důvodem jejího vzniku bylo, aby studenti měli kvalitnější praktické vzdělání a byli připraveni do praxe. Princip soutěže spočívá v tom, že každý tým musí být schopen postavit lehký závodní vůz formulového typu a zaujmout potenciálního investora pro sériovou výrobu těchto vozů v počtu 1000 kusů za rok. Nejenom že vůz musí mít co nejlepší jízdní vlastnosti, ale dále je potřeba mít přehled o finančních nákladech, zvolené koncepci vozu, hloubce znalostí konstruktérů, prodejní strategii atd. Jednotlivé závody jsou rozděleny na statické a dynamické disciplíny. V tuto dobu v roce 2018 je v rámci spalovacích formulí 556 týmů.

V rámci jedné statické disciplíny takzvané EDR (Engineering design report), dalo by se přeložit jako vypělost vozu, musíme dokázat, že konceptu vozu rozumíme po technické stránce a k tomu nám pomohou i výsledky měření, jako je například měření torzní tuhosti nosné konstrukce našeho vozu. Provádíme v rámci zdokonalení našeho pochopení a znalostí i další měření, která také posloužila jako témata bakalářských či diplomových prací.



Obr. 3-Tým CTU CarTech na závodech v Maďarsku 2016



Obr. 2-Vůz FS.10

2. Teoretická část

2.1. Karosérie Vozidel

Karoserie je jedna z nejdůležitějších částí automobilů, jak jsem již psal v úvodu. Na celkové hmotnosti automobilu se podílí až z 55 %. Na výrobu se jedná o jednu z nejpracnějších a nejsložitějších částí vozidla. Tato část vozidla slouží k ochraně cestujících v případě dopravní nehody, dále chrání cestující nebo náklad před vnějšími vlivy, které na vozidlo působí. Vnitřní tvarování karosérie ovlivňuje ergonomii vozidla a spolu s výbavou vozidla ovlivňuje celkový pocit pohodlí ve vozidle. Vnější tvarování a konstrukce karosérie ovlivňuje především míru zranění chodce nebo cyklisty v případě nehody. Dále pak ovlivňuje aerodynamické vlastnosti a estetický dojem z vozidla. [1]

Karosérie vozidla přebírá statické i dynamické síly přicházející od vozovky nebo od pohonné jednotky. Proto je tuhost karosérie velmi důležitým faktorem a snaha konstruktéru je dosažení co největší tuhosti. Faktory závislé na tuhosti karosérie jsou například, pohodlí posádky ve vozidle z hlediska vystavení hluku a vibracím, tak i aktivní bezpečnost vozidla. [1]

Rozlišujeme několik typů (systémů) karosérie. Tím se myslí vzájemný vztah podvozku a karosérie. Dnes se však nejčastěji používá systém samonosné konstrukce, která je používána u všech typů osobních automobilů. Samonosná karosérie se vyznačuje jako nosná konstrukce nejen pro náklad, ale také jako nosná konstrukce pro podvozek a pohonné jednotky. [1]



Obr. 4-Samosná karosérie Škoda Superb II [3]

Dalším důležitým požadavkem na karosérie je recyklace, dopad na životní prostředí, tudíž optimalizace výroby, celková hmotnost, pasivní bezpečnost, životnost a s tím souvisí korozní odolnost samotné karosérie.

Samonosné karosérie jsou převážně složené z plechových výlisků bez pomocného rámu. Jednotlivé výlisky mohou být jak ocelové, tak i hliníkové. Dále mohou být spojeny různé profily nebo odlitky z hliníkových a hořčíkových slitin. [3]

Dalším konceptem, který je blízký konceptu nosné konstrukce vozu Formula Student je takzvaný CFK Monococque. Základem této karosérie je kompozitní skořepina z uhlíkových vláken a dále je tvořena pomocnými rámy z lehkých slitin. Avšak tento koncept je velice finančně nákladný. Používá se pouze u lepších sportovních automobilů. Zastoupení v sériových osobních automobilech má například BMW i3 či Alfa Romeo 4C. [3]



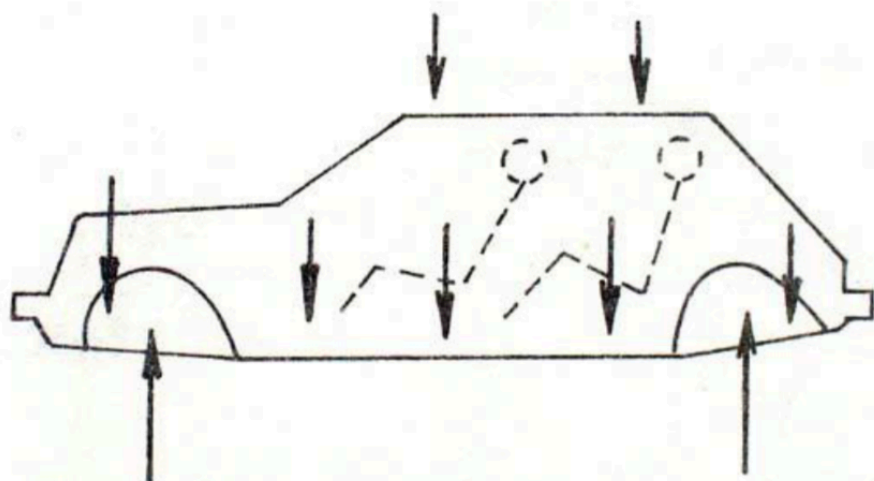
Obr. 5-CFK Monococque Pagani Huayra, Ženeva 2012 [2]

2.2. Zatížení samonosné karosérie

Během běžného provozu automobilu je karosérie různě namáhána. Je namáhána jak staticky, tak i dynamicky. Soubor sil jejichž velikost na karosérii působí, závisí na konstrukci vlastního vozidla a na podmínkách při kterých je v provozu. Nesmí nastat stav, kdy při působení těchto sil, by se karosérie nadměrně deformovala. Dále nesmí dojít k trvalým deformacím. To nastane v případě, kdy se překoná mez kluzu materiálu a z elastické deformace nastane plastická deformace. Vlastnosti jako je tuhost a pevnost karosérie lze zjistit při statickém zatěžování v rozsahu provozních sil. [1]

2.3. Statické (vertikální) zatížení karosérie

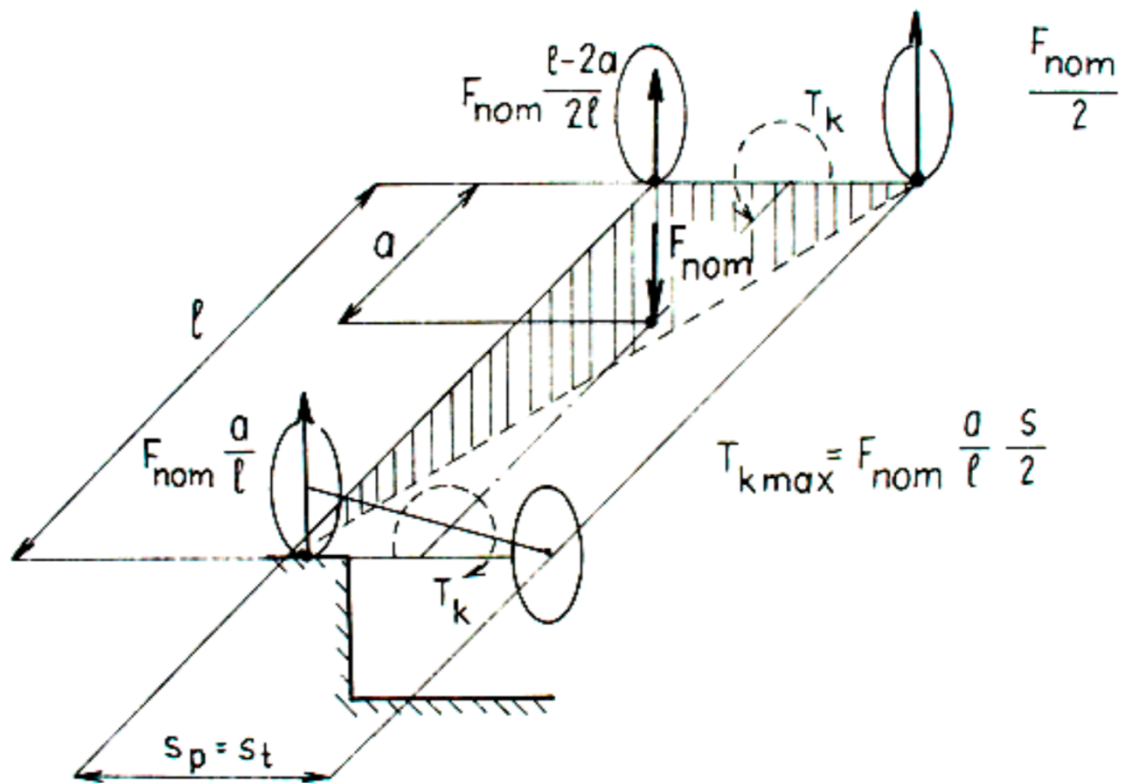
Než se začneme bavit o torzním zatížení, nejprve si řekneme pár slov o vertikálních zatížení. Statické neboli vertikální zatížení vzniká od tíhy pohonné jednotky a další výbavy vozidla, například zavěšení kol, sedadla, tíha posádky, vlastní tíha karosérie, výfukové ústrojí atd. Tyto síly působí ve svých daných působíštích, které jsou dané dle konstrukce automobilu. S těmito silami jsou v rovnováze vertikální síly, které působí z vozovky na karosérii přes zavěšení kol. Avšak za předpokladu, že vůz je v klidu. Při pohybu vozidla po vozovce vznikají dynamické síly, které jsou pochopitelně vyšší. Pro jednoduchost se tyto síly uvažují ve formě koeficientů zvýšení jmenovitých sil. [1]



Obr. 6-Schéma vertikálního zatížení [1]

2.4. Zatížení krutové (torzní)

Jedná se o důležité statické zatížení. Vnik tohoto zatížení je například při nájezdu jednoho kola na nerovnost vozovky. Na Obr. 7 je možné vidět situaci, kdy vznikne maximální statický moment τ_{kmax} na karosérii. To vznikne při úplném odlehčení jednoho kola.



Obr. 7-Schéma torzního zatížení [1]

2.5. Torzní tuhost

Torzní tuhost C_k je odolnost vůči zatížení krutem neboli kroutícím momentem. Spočítá se pomocí vztahu:

$$C_k = \frac{\tau_{kMAX}}{\phi} [Nm/^\circ] \quad (1)$$

τ_{kmax} ... maximální kroutící moment [Nm]

ϕ změna natočení vyvolaná kroutícím momentem [°]

Vozidlo by mělo mít adekvátní torzní tuhost karosérie. Můžeme vzít v úvahu, že karosérie automobilu je jakási velmi tuhá pružina, která spojuje přední zavěšení kol se zadní. Pokud tato „pružina“ není dostatečně tuhá, tak může nastat situace, kdy je velice obtížné, či nemožné kontrolovat ovládání vozidla. V případě pružné karosérie se zavádí další pružina. Čím více je karosérie vozu tuhá, tím více lze předvídat následné ovládání vozu. [2]

V případě, kdy není karosérie dostatečně tuhá, může docházet k předčasné únavě materiálu a v krajním případě i k poruše materiálů a následně k autonehodě. Dále může být nadměrně zatěžováno zavěšení kol vlivem kroucení karosérie. [2]

2.6. Hodnoty velikostí torzní tuhosti karosérie

Průměrné hodnoty torzní tuhosti osobních automobilů typu sedan se pohybují v intervalu od 5 000 do 15 000 Nm/deg. Tyto hodnoty jsou uvedeny však pro samotnou karosérii bez vlivu zavěšení kol a dalších uchycovacích prvků, které jsou potřeba ke spojení k samotné karosérii. Měření pouze jedné části celé sestavy může vykazovat hodnoty, které nemusejí odpovídat reálné situaci. Neustálé zvyšování torzní tuhosti je přínosné, avšak je potřeba najít kompromis mezi hmotností a již zmiňovanou tuhostí. V závislosti na zvyšování torzní tuhosti, se zvyšuje i hmotnost karosérie automobilu. Je nezbytné, aby karosérie odolávala rozdílu mezi předním a zadním klopným momentem náprav. Torzní tuhost karosérie musí poskytnout pevný celek pro přední a zadní zavěšení kol, které umožní rozdělit boční síly mezi nápravy podle klopné tuhosti náprav. [2]

2.7. Vliv torzní tuhosti karosérie na jízdní vlastnosti celého vozu

Karosérii můžeme uvažovat jako jakousi pružinu spojující nápravy na vozidle. Jak je již uvedeno výše. Tuhost této „pružiny“ ovlivňuje rozložení zatížení pod jednotlivými koly. Jakmile vůz projíždí zatáčkou, jsou vůči sobě jednotlivé nápravy pootočený a vlivem bočního přetížení jsou pružiny pod jednotlivými koly různě stlačeny a tím generují různé síly pod koly. Při nízké torzní tuhosti karosérie může být nejasná odezva na pokyn řidiče při změně směru jízdy. V této situaci se karosérie kroutí. Než deformace nastane, uběhne nějaký čas. Při nižší torzní tuhosti, bude deformace krutem vyšší a potřebný čas na deformaci delší. Z tohoto času může nastat již zmíněná nejasná či kritická odezva podvozku. Při zjednodušené interpretaci si můžeme představit, že při náhlém zatočení, zatočí přední náprava hned, ale zadní náprava se zpožděním. Dalším nepříznivým jevem můžou být nadměrné vibrace z důvodu nízké vlastní frekvence karosérie. [4]



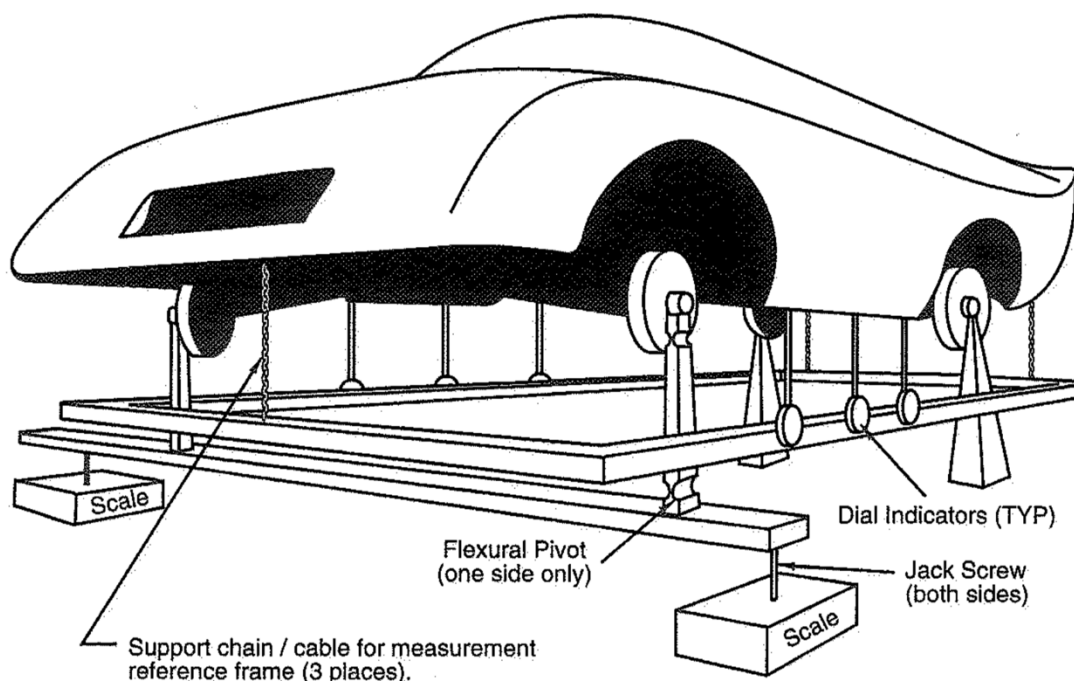
Obr. 8-Demonstrace rozdílné torzní tuhosti [5]

Na obr. 8 je názorně vidět u zdánlivě stejných aut rozdílná torzní tuhost karosérie. Tato dvě auta byla podrobena testu torzní tuhosti. Na levé straně je vůz značky FORD Super Duty a na pravé straně se nachází vůz Chevrolet Silverado 3500 HD. Oba vozy byli zatíženy nákladem o hmotnosti 1 360 kg. Jak je patrné z Obr. 8 vůz značky Chevrolet má karosérii zásadně tužší. Karosérie vozu Ford se zdeformovala natolik, že nebylo možné otevřít dveře k nákladovému prostoru a samotné dveře měly nežádoucí deformace. [5]

2.8. Metody měření torzní tuhosti

Metod, jak změřit torzní tuhost je hned několik. V kapitole 2.7. na obr. 8 je vidět jedna z metod, kdy automobil najíždí na plošinu, která svým tvarem karosérii zatíží. Dále je spousta možností, jak karosérii k měřicímu zařízení připevnit a karosérii zatěžovat. Uvedu zde pár možností, jak měření provést, přičemž jedno měření bylo provedeno na vozech Formula Student FS.09 a FS.10. O tom píšu i v praktické části této práce.

2.8.1. Měření torzní tuhosti pomocí rámu zavěšeného na řetězech



Obr. 9-schéma metodiky měření pomocí rámu na řetězech [2]

Vlivem zatížení vznikají reakce na zadní a přední nápravě. Tyto reakce jsou zachycovány pod osami náprav. Na vnější straně náprav je přední konec podepřen břity. Je nezbytné, aby byly přední pružiny zablokovány nebo jako v našem případě na vozech FS.09 a FS.10, byly pružiny nahrazeny pevnou vzpěrou. Jak je vidět na Obr. 10. Ke šroubovému zvedáků, který spočívá na dvou vahách jsou připevněny břity. Zadní část je též podepřena břity, které jsou pevně přimontovány k podlaze nebo k pomocné desce. Tak jako tomu bylo u přední nápravy, je potřeba, aby byly pružiny i u zadních náprav buď zablokovány nebo nahrazeny pevnou vzpěrou. [2]

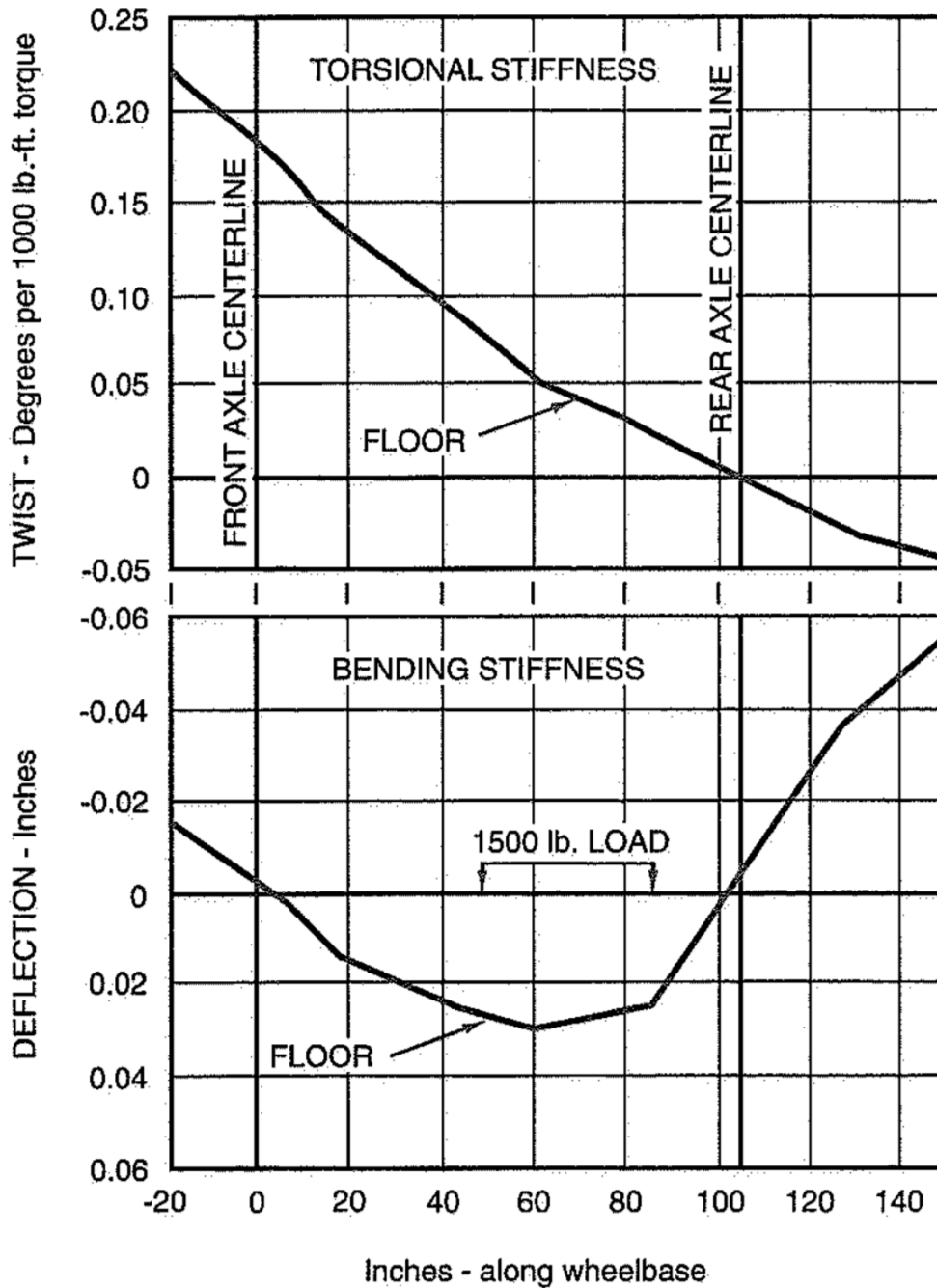


Obr. 10-Ukázka náhrady pružiny pevnou vzpěrou na vozu FS.10

Zařízení měřící deformaci se skládá z číselníkových ukazatelů a toto zařízení je připevněno na pevný rám, který se nachází pod vozidlem. Na Obr. 9 je toto zařízení vidět pod názvem *Dial Indicators (TYP)*. Tato číselníková zařízení jsou umístěna po celé délce vozu párově v bodech, které chceme změřit. Pevný rám, který je zavěšen na řetězech a na kterém je upevněno měřící zařízení, je zavěšen na vozidle v následujících třech bodech. Dva body, kde je rám uchycen se nacházejí v rovině zadní nápravy a třetí bod se nachází mezi předními koly. [2]

Následné měření probíhá následujícím způsobem. Na karosérii vozidla je vyvozován kroutící moment pomocí snižování či zvyšování šroubového zvedáku, můžeme použít označení hever. Na Obr. 9 je to označeno pod názvem *Jack Screw*. Dále odečítáme údaje z vah před zatížením a následně po zatížení. Váhy jsou na Obr. 9 značeny pod názvem *Scale*. Kroutící moment, který karosérii zatěžuje, získáme jako polovinu vzdálenosti mezi břity, vynásobenou rozdílem hodnot, které odečteme na váhách. Budeme pracovat v metrických jednotkách, tudíž vzdálenost budeme uvažovat v metrech a zatěžující sílu v Newtonech. Kroutící moment má tudíž jednotku Nm. [2]

Aby se minimalizovala hystereze, začíná test s nulovým kroutícím momentem, pak se zdvihne jeden zdvih, dokud nedocílíme maximálního točivého momentu. Proces je opakován v opačném směru, dokud opět nedocílíme maximálního točivého momentu. Nakonec se opět vrátíme na výchozí nulovou hodnotu. [2]



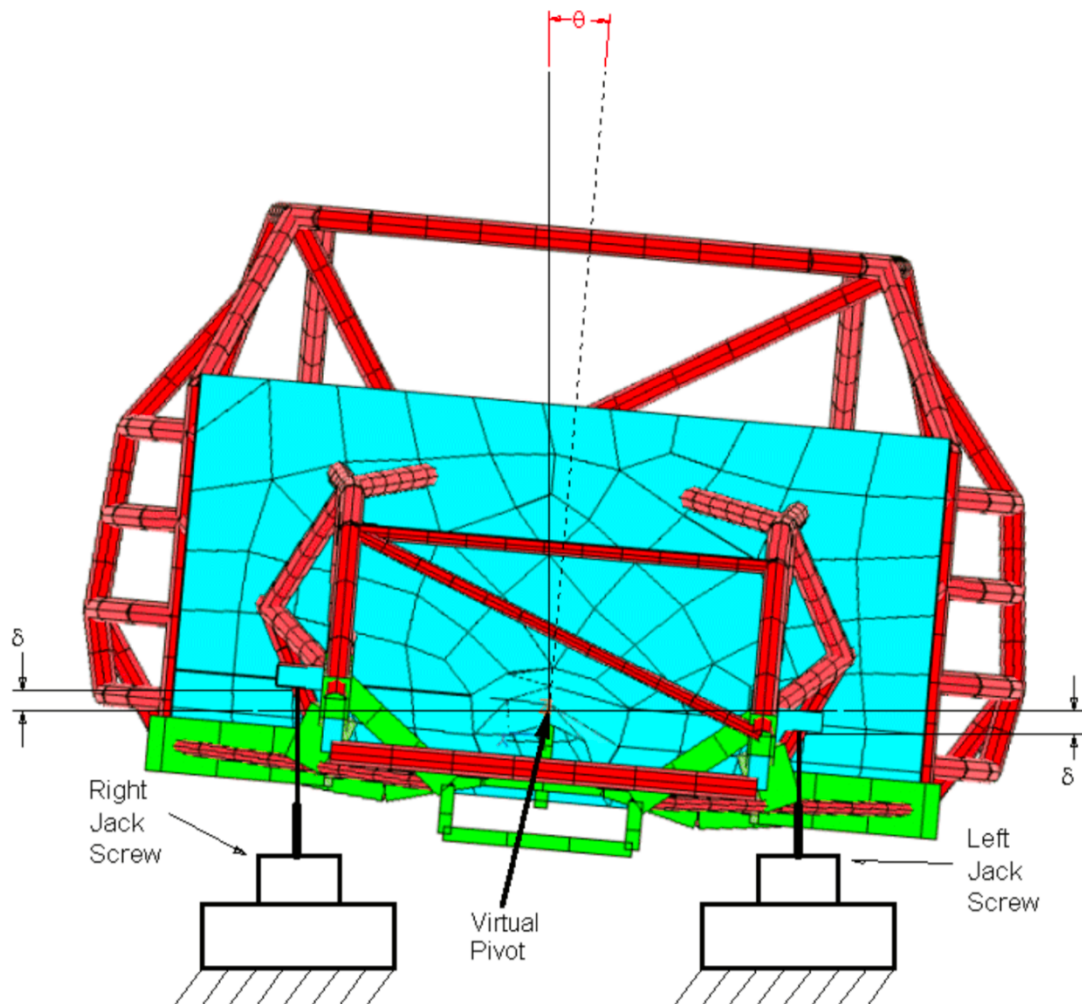
Obr. 11-Ohybová a torzní tuhost po délce karosérie vozidla [2]

Na Obr. 11 lze vidět příklad průběhu torzní tuhosti od zatížené přední nápravy a dále je zde vidět průběh ohybové tuhosti vzhledem zatížení vozidla závažím o hmotnosti 680 kg.

2.8.2. Metoda měření torzní tuhosti karosérií automobilů Winston Cup

2.8.2.1. Koncepce lineárního šroubového zvedáku

V této metodě použijeme opět šroubové zvedáky. Pomocí těchto zvedáků vytvoříme vertikální deformace, která zkroutí karosérii okolo virtuálního bodu, který se nachází ve středu nedaleko vertikální osy karosérie. Tímto způsobem máme zajištěno, že se karosérie bude namáhat pouze namáháním na krut. Tato skutečnost přispěje k přesnějšímu měření. Dále jsou řízeny servopohony se šroubovými zvedáky, které jsou vůči sobě nezávislé jak na pravé, tak na levé straně. Díky tomu, můžeme karosérii namáhat krutícím momentem přímo kolem její středové osy. [4], [6]



Obr. 12-Ukázka přípravku pro měření torzní tuhosti [6]

2.8.2.2. Návrh úchytného přípravku

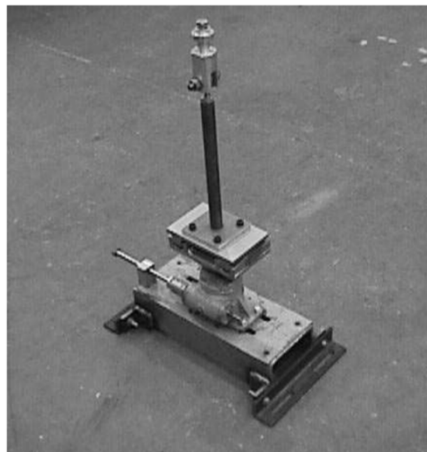
Tyto přípravky mají spojit šroubové zvedáky s karosérií v místě, kde jsou uloženy přední pružiny. Zadní část karosérie je spojena přípravkem přímo k přišroubované podpoře. [4], [6]



Obr. 13- Zadní část přípravku [6]

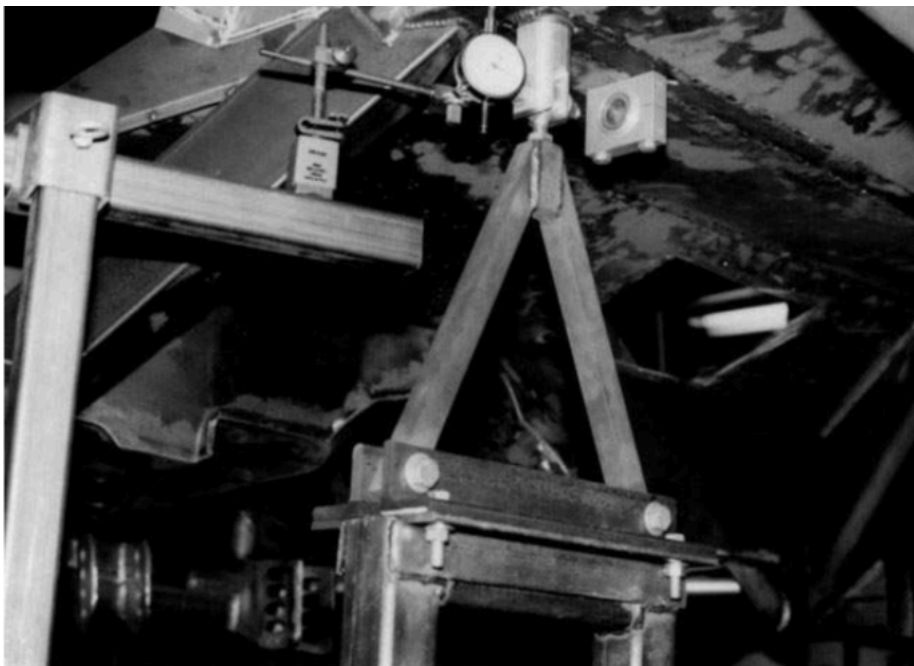
Upevnění karosérie je uskutečněno pomocí kulového kloubu, který má všechny stupně volnosti. Jakmile se stojan přišroubuje pevně k podlaze, pak se všechny stupně volnosti zafixují.

Na Obr. 14 lze vidět podobu sestavy předního přípravku. Šrouby uchytí tento přípravek k podlaze pomocí L profilu, který je přivařen k obdélníkovému profilu. V L profilu jsou vyfrézované podélné díry, které zapříčiní snadné ustavení přípravku pod karosérií vozu. Přípravek se na karosérii přichytí pomocí kulového kloubu. [4], [6]



Obr. 14-Přední část přípravku

Váhy jsou umístěny pod předními přípravky. Jakmile se dosáhne dostatečně velkého úhlu natočení, pak reakce vyvozená od zatížení na jednom z předních přípravku mění smysl orientace, tudíž se z tlakové síly stane tahová. Následkem této skutečnosti, tato váha přestane měřit, neboť je schopna měřit pouze tlakové zatížení. To ničemu nevadí, jelikož tahové zatížení není potřeba v tomto případě měřit. Vzhledem k tomu, že mají všechny čtyři přípravky úchytné body přes kulový kloub, které oddělují rotační stupně volnosti od karosérie, potom následná změna tahového zatížení na jedné váze, vyvolá stejnou změnu tlakového zatížení na druhé váze. Následkem této skutečnosti postačuje měření pouze za pomoci jedné váhy, která zaznamenává tlakové zatížení. Platnost tohoto tvrzení je zřejmé z údajů z testů a analýzy. Pro objasnění použití pouze tlakové reakce, byla provedena analýza zjednodušené asymetrické konstrukce podvozku s aplikovanými stejnými a protilehlými posuny. Analýza ukazuje, že pro asymetrickou strukturu karosérie podepřenou kulovými klouby v rohách jsou reakční síly na levé a pravé straně stejné a opačné. [6]



Obr. 15-Ukázka propojení zadního přípravku a karosérie [6]

2.8.2.3. Měření torzní tuhosti a analýza nejistot

V této části jsou popsány postupy pro výpočet torzní tuhosti pomocí otočného kloubu pro podvozek Winston Cup. Měření plně sestaveného automobilu slouží k ilustraci nejistoty měření v konstrukci vozu. Ciferníkové úchylkoměry se používají k měření protilehlých, vertikálních výchylek δ u levé a pravé přední pružiny. Pro danou výchylku δ je přední úhel natočení: [6]

$$\theta_f = \frac{2\delta}{L_f} \quad (2)$$

θ_f ... přední úhel natočení [rad]

L_f ...vzdálenost mezi úchylkoměry [mm]

δ ...výchylka [mm]

R_r a R_l jsou reakce od sil v pravé přední a levé přední částí přípravku, která je změřena pomocí vah. Následný moment se spočítá pomocí vztahu: [6]

$$T = \left(\frac{|R_r| + |R_l|}{2} \right) \cdot L_s \quad (3)$$

T ...moment [Nm]

R_r ...reakce na pravém přípravku [N]

R_l ...reakce na levém přípravku [N]

L_s ...vzdálenost mezi váhami [m]

Zadní úhel natočení θ_r dostaneme pomocí odečtení vertikálních výchylek naměřených v zadní části přípravku v blízkosti místa, kde jsou uloženy pružiny. [6]

$$\theta_r = \frac{|\delta_r| + |\delta_l|}{L_r} \quad (4)$$

θ_r ...zadní úhel natočení [rad]

δ_r ...vertikální výchylka na pravé straně [mm]

δ_l ...vertikální výchylka na levé straně [mm]

L_r ...vzdálenost mezi zadními úchylkoměry [mm]

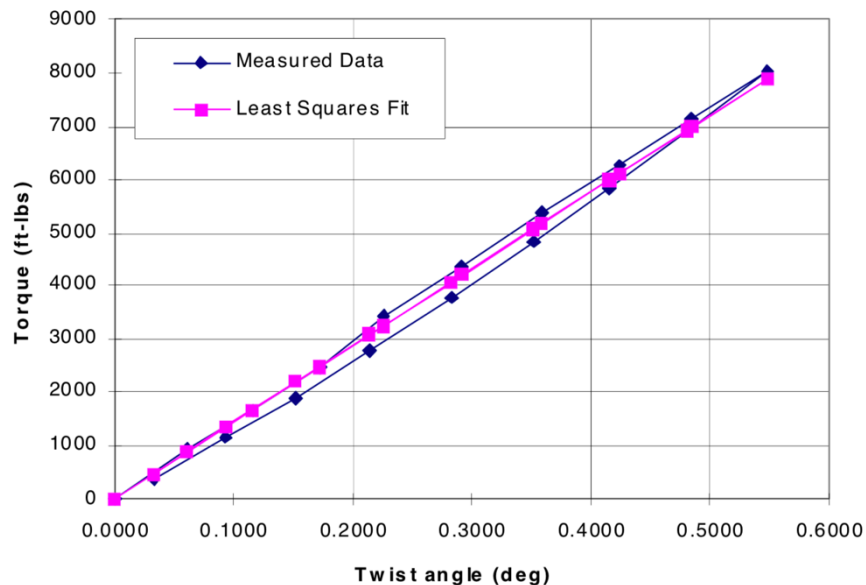
Výsledná torzní tuhost se vypočte pomocí vztahu: [6]

$$K = \frac{T}{\theta} \quad (5)$$

$$\theta = \theta_f - \theta_r \quad (6)$$

θ ...celkový úhel natočení [rad]

Příklad výsledků měření torzní tuhosti kompletně sestaveného vozu je v Obr. 16. Karosérie je namáhána po dílčích krocích. Po několika krocích se při odlehčování zatížení hodnoty úhlu natočení opět dostanou zpět do nulové hodnoty. Můžeme si všimnout, že měření je zatíženo hysterezí, která je pravděpodobně způsobena třením. [6]



Obr. 16-Ukázka výsledků měření torzní tuhosti [6]

Nejistota měření se určí z několika faktorů, které vnášejí chybu do měření. V první řadě přesnost ciferníkového úchylkoměru $\pm 0,001$. Dalším faktorem je přesnost pásového měřidla pro měření vzdálenosti mezi váhami a jednotlivými úchylkoměry. Daná nejistota se spočítá pomocí vztahu: [6]

$$U_k = \sqrt{\sum_{i=1}^8 \left(\frac{\partial K}{\partial X_i} dX_i \right)^2} \quad (7)$$

dX_i ...nejistota naměřených dat

$\partial K / \partial X_i$...citlivost tuhosti vzhledem k naměřené proměnné X_i .

2.8.3. Měření torzní tuhosti pomocí přípravku na otočném kloubu

Tento typ měření byl použit pro měření torzní tuhosti nosné konstrukce vozů studentské formule FS.09 a FS.10. Toto měření se provádí pomocí zkušebního přípravku viz. Obr.17. Nosná konstrukce formule nebo karosérie automobilu se upne v rovině zadní nápravy do zkušebního přípravku takovým způsobem, aby bylo zajištěno, že se zátěžné síly vnášejí jako u skutečného zatížení vozidla přes zablokovanou soustavu nápravy a odpružení. Přední náprava je do přípravku uchycena tak, aby bylo možné pomocí přípravku vyvodit namáhání na krut na otočném kloubu, na kterém je přední část přípravku uchycena. A dále je přední část přípravku uchycena tak, aby byl umožněn volný boční posuv. Soustava přední nápravy a odpružení musí být opět zablokována.

Při konkrétním zatížení karosérie kroutícím momentem T_k se měří úhel zkroucení karosérie ϕ mezi nápravami. Krutová tuhost, respektive torzní tuhost C_k se spočítá pomocí vztahu: [1]

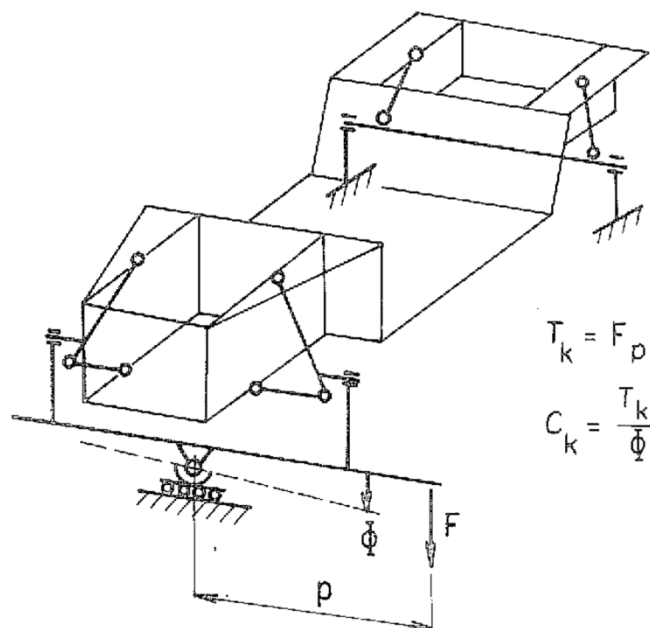
$$C_k = \frac{T_k}{\phi} \quad (8)$$

C_k ...torzní tuhost [Nm/°]

T_k ...kroutící moment [Nm]

ϕ ...úhel zkroucení karosérie [°]

Tento vztah je stejný jako v případě kapitoly 2.5.



Obr. 17-Schéma pro měření torzní tuhosti [1]

3. Praktická část

V praktické části se věnuji problematice měření na dvou vozech studentské formule FS.09 a FS.10, která zahrnuje úpravu přípravku a v neposlední řadě dále docílení měření, které je provedeno korektně, kdy bylo potřeba eliminovat vlivy, které do měření vnášely chyby. Vůz FS.09 byl podroben zkušebnímu měření po ujetých cca. 1300 kilometrů a vůz FS.10 byl podroben zkušebnímu měření po ujetých cca 30 kilometrech. Tedy vůz byl akorát vyroben. Tudíž nosná konstrukce nebyla doposud značně namáhána.



Obr. 18-Vůz FS.09



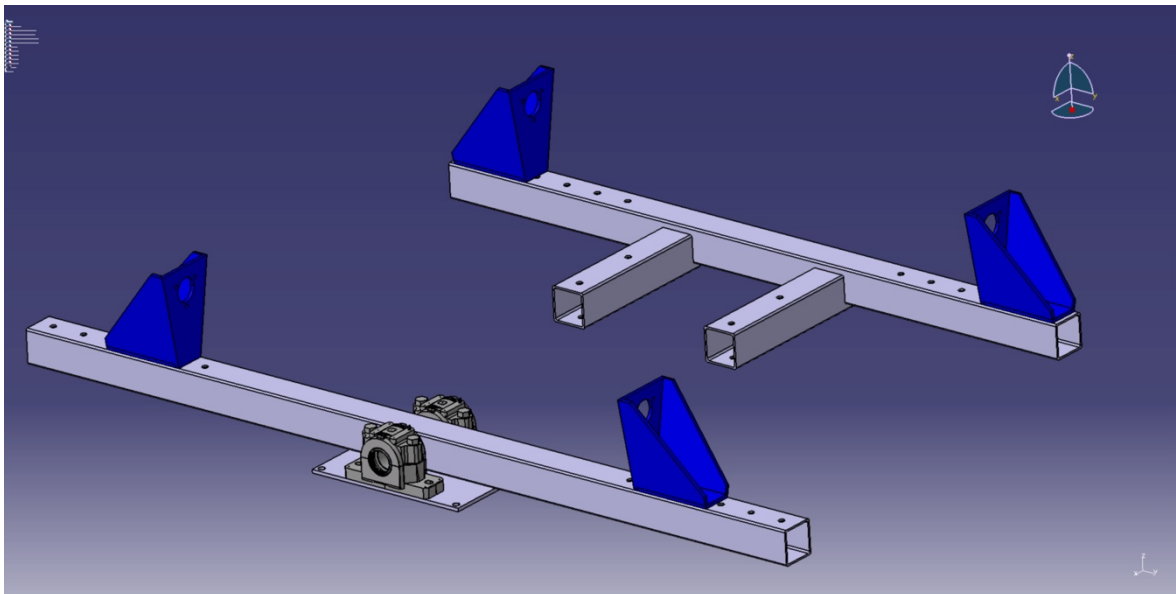
Obr. 19-Vůz FS.10

Konkrétní úkoly, které byly v rámci praktické části vypracovány:

- Zprovoznění stavu (přípravku) na měření torzní tuhosti pro vůz Formula Student
- Měření vozů Formula Student FS.09, FS.10
- Analýza výsledků se zaměřením na identifikaci oblastí nosné konstrukce, které mají největší vliv na výslednou torzní tuhost nosné konstrukce.

3.1. Zprovoznění zkušebního přípravku na měření torzní tuhosti

Zkušební přípravek viz Obr. 20, který je nezbytný pro zprovoznění měření, byl již vyrobenými kolegy před několika roky pro měření torzní tuhosti staré generace vozu Formula Student FS.04. Vzhledem k vývoji nových vozů, bylo potřeba pouze přípravek upravit v podobě vyvrtání nových děr pro štefty viz. Obr. 21, které jsou nalisované v náboji v kolové sestavě na vozech FS.09 a FS.10. Po této úpravě byl již přípravek kompatibilní s aktuálními generacemi vozů Formula Student. Přípravek byl uchycen do stolu pomocí šroubových spojů.



Obr. 20-Přípravek, který byl použit pro měření torzní tuhosti vozů FS.09 a FS.10

Jakmile byl přípravek uchycen do stolu, bylo možné do něj uchytnout vůz studentské formule. Při této proceduře je nezbytně nutné, aby podélná osa vozu ležela v rovině symetrie přípravku. Čili v rovině X, Z viz. Obr. 20. V opačném případě by, následné měření bylo znehodnoceno.



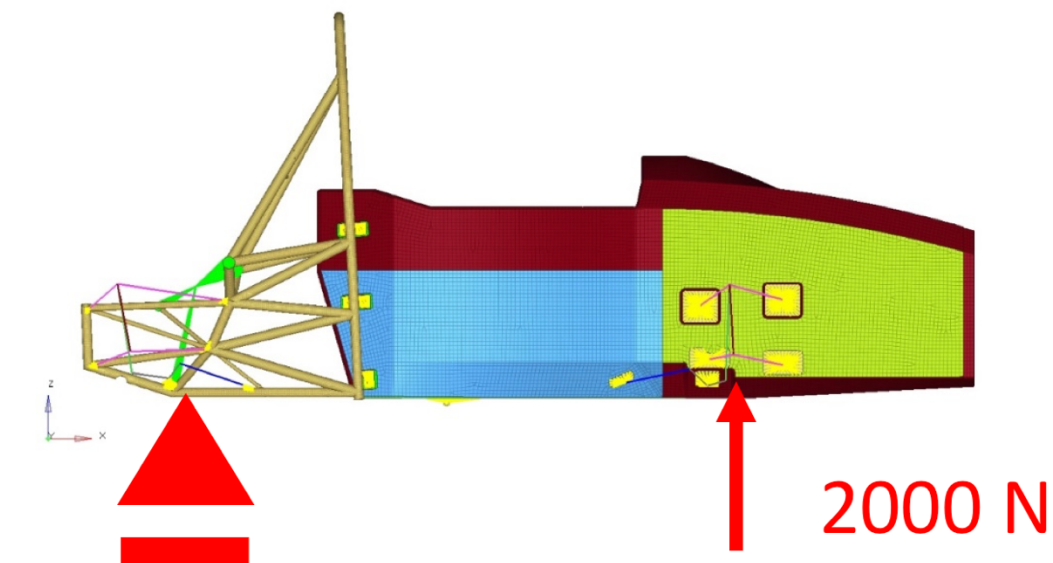
Obr. 21-Znázornění potřebných úprav



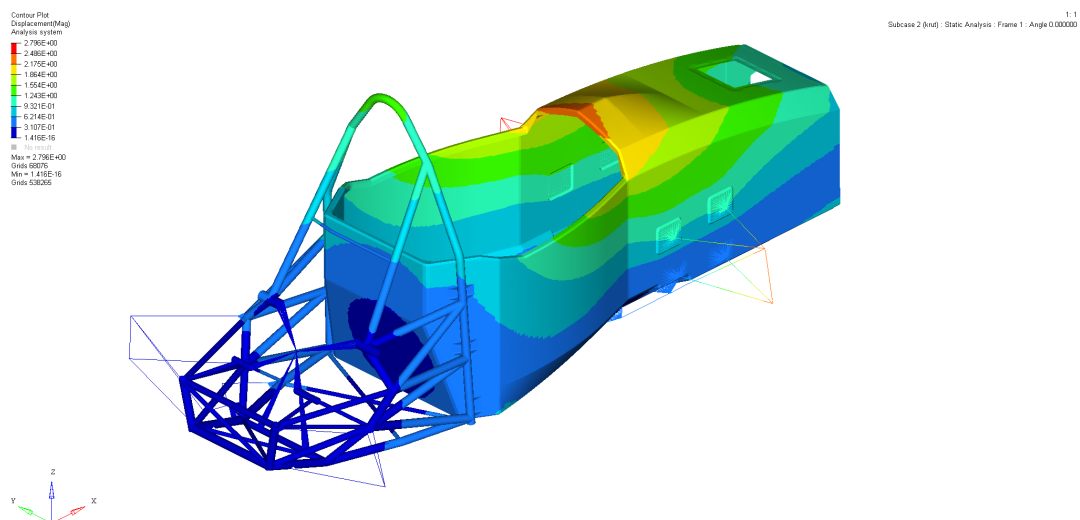
Obr. 22- Část přípravku pro měření torzní tuhosti

3.2. Vstupní data ze simulace v softwaru Hyperworks pomocí MKP

Mí kolegové při návrhu a konstrukci nosné konstrukce vozů FS.09 a FS.10 použili pro výpočet software Hyperworks. Model, který byl použit pro výpočet, byl pevně uchycen v rovině zadní nápravy a v místě přední nápravy byla umožněna rotace kolem podélné osy vozu. Síla, která simulovala zatížení působí v místě styku pneumatiky s vozovkou a její velikost byla z empirie stanovena na 2 000 N. Přesnou hodnotu velikosti této síly zatím neznáme, jelikož doposud nebyla experimentálně zjištěna. Avšak tento experiment je předmětem bakalářské práce dalšího kolegy. Pro další výpočty budeme tudíž disponovat lepšími vstupními údaji.

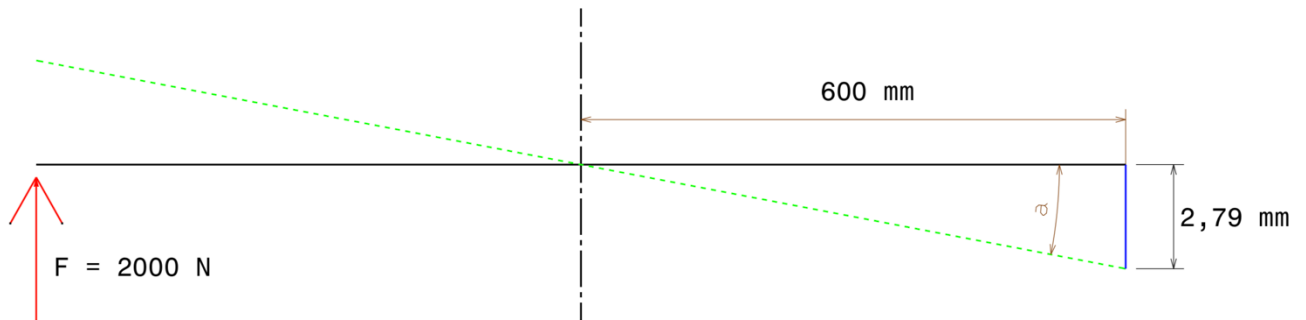


Obr. 23-Model pro výpočet



Obr. 24-Ukázka výsledné simulace

Na základě simulace byl stanoven maximální vertikální posuv na nápravě v místě, kde působí zatěžující síla. Tento posuv činí 2,8 mm viz. Obr. 24. Torzní tuhost, získáme následujícím způsobem. Tento výpočet je totožný pro získání hodnot torzní tuhosti i z experimentálního měření.



Obr. 25-Schéma pro znázornění výpočtu

Úhel natočení získáme z údaje vertikálního posuvu, v místě působící síly F.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2,79}{600} \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg} \frac{2,79}{600} = 0,266^\circ \quad (9)$$

Kroutící moment získáme následujícím výpočtem:

$$M_k = 2000 \cdot 0,6 = 1200 \text{ Nm} \quad (10)$$

Výsledná torzní tuhost se vypočítá pomocí již známého vztahu viz. rovnice (8)

$$C_k = \frac{1200}{0,266} = 4504 \text{ Nm/}^\circ \quad (11)$$

Výsledek rovnice (11), je výsledkem výpočtu na základě simulace vozu FS.09. Pomocí stejného postupu jsme určili torzní tuhost vozu FS.10. Rozchod i rozvor kol jsou stejné jako na voze FS.09 a hodnota zatížení při simulaci měla též hodnotu 2000 N. Ze simulací a následného výpočtu vozu FS.10, jsme určili hodnotu výsledné torzní tuhosti 3500 Nm/°. Tato hodnota je dle očekávání nižší, jelikož dimenzování nosné konstrukce bylo optimalizováno za účelem úspory hmotnosti.

3.3. Postup měření

Jak již bylo zmíněno, měření byly podrobeny vozy FS.09 a FS.10. Na podzim 2017 byl změřen vůz FS.09, který měl najeto 1300 km. Značná část komponentů tohoto vozu byla již velice opotřebována. A jedním z těchto komponentů byla nosná konstrukce, kterou bylo nutné v místě uchycení předních náprav vyztužit z důvodu patrné delaminace jednotlivých vrstev uhlíkových vláken. Na základě této skutečnosti jsme očekávali podstatně nižší hodnoty torzní tuhosti v porovnání s hodnotami vypočítanými ze simulace.

3.3.1. Uchycení vozu do zkušebního přípravku

Vůz byl uchycen do přípravku, který byl připevněn ke stolu. Jak již bylo zmíněno, byl brán zřetel na to, aby vůz byl v přípravku uchycen symetricky vůči celému přípravku.



Obr. 26-Instalace vozu FS.09 do zkušebního přípravku

Aby mohl být vůz v přípravku uchycen, bylo zapotřebí odmontovat brzdící třmeny. Viz. Obr 27.



Obr. 27-Ukázka uchycení vozu FS.09

Jakmile byl vůz ve zkušebním přípravku řádně upevněn, bylo možné začít se samotným experimentem.



Obr. 28-Vůz FS.09 uchycen ven zkušebním přípravku

3.3.2. Způsob provedení měření

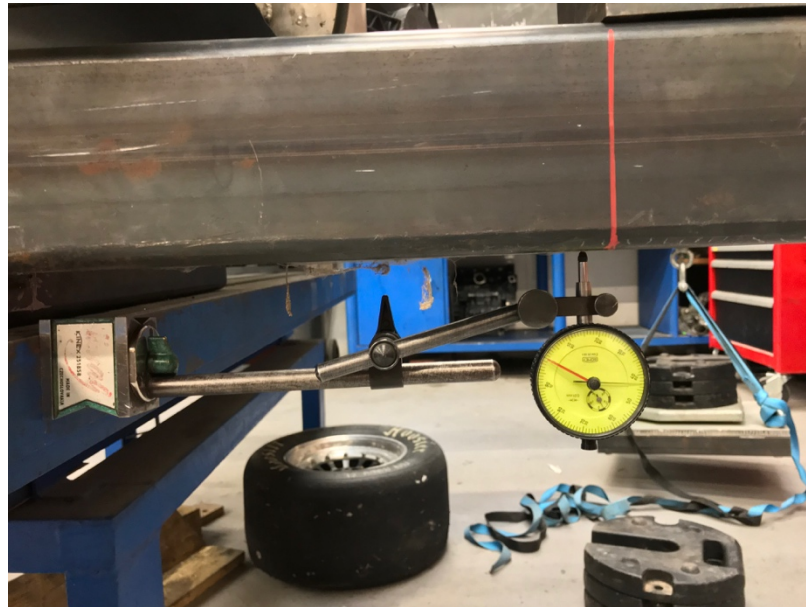
3.3.2.1. FS.09

Zatížení, které jsme potřebovali pro provedení experimentu, jsme vyvodili pomocí zavěšené klece na okraji zkušebního přípravku, do které jsme postupně přidávali závaží o hmotnosti 12 kg. Bylo provedeno několik měření a po následných výsledcích jsme usoudili, že jako nulovou hodnotu, ze které bude zatížení vycházet, bude 24 kg. Toto bylo opatření, které mělo za cíl eliminovat nepřesnosti měření vlivem vůlí v pohyblivých částí náprav. Postup zatížení byl tedy následující. Nejprve bylo do klece vloženo závaží o hmotnosti 24 kg. Následně byly nastaveny na nulovou hodnotu ciferníkové úchylkoměry. Po tomto kroku byla postupně přidávána jednotlivá závaží o hmotnosti 12 kg. Po každém přidání závaží byly odečítány hodnoty. Maximální zatížení, které bylo vyvozeno bylo při 60 kg závaží. V těchto závaží není počítáno zatížení od dalších dvou závaží, která sloužila k eliminaci vůlí v pohyblivých částí náprav. Po dosažení maximálního zatížení bylo stejným postupem závaží odebíráno a odečítání hodnot bylo také provedeno stejným postupem. Je patrné, že měření bude zatíženo hysterezí. Tento postup byl aplikován až na měření vozu FS.10. Vůz FS.09 byl měřen bez ohledu na výskyt hystereze v měření.



Obr. 29-Ukázka zatížení při experimentu

Hodnoty vertikálního posuvu byly odečítány pomocí ciferníkových úchylkoměrů. Tyto úchylkoměry jsem postupem několika měření přemisťoval po celé délce nosné konstrukce, aby bylo možné změřit torzní tuhost v závislosti na celé délce nosné konstrukce. I umístování úchylkoměrů prošlo určitým vývojem. Jelikož jsem zjistil, že byli na měření vozu FS.09 umístovány nevhodně.



Obr. 30-Úchylkoměr na zadní části přípravku



Obr. 31-Úchylkoměr na přední části přípravku

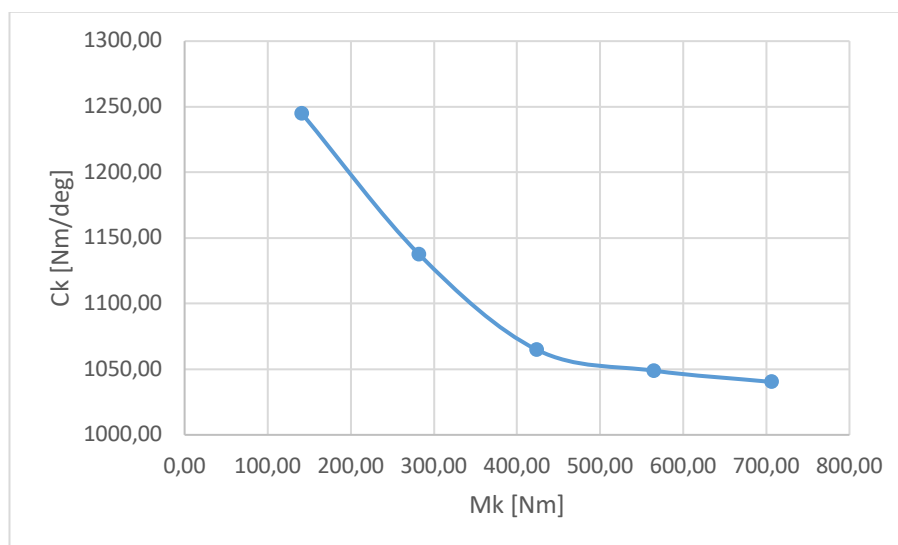
Příklad jednoho z mnoha provedených měření. Toto měření bylo provedeno na celé délce nosné konstrukce vozu FS.09. Závaží bylo zavěšeno na jednu stranu přípravku a po uskutečnění měření se závaží umístilo na stranu druhou. Výsledek měření se zprůměroval z hodnot naměřených na obou stranách

Vůz	FS.09								
Datum měření	20.12.17								
Číslo měření	9								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Pravá								
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)								
Místo měření zadní část	přípravek (565 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	0,65	0,23	0,15	0,02	0,13	141,26	1124,31	1082,05	
24	1,32	0,44	0,30	0,04	0,26	282,53	1095,50		
36	1,99	0,62	0,46	0,06	0,39	423,79	1077,83		
48	2,67	0,78	0,61	0,08	0,53	565,06	1060,55		
60	3,35	0,95	0,77	0,10	0,67	706,32	1052,04		

Tab. 2- Zapsané hodnoty z 9. měření vozu FS.09

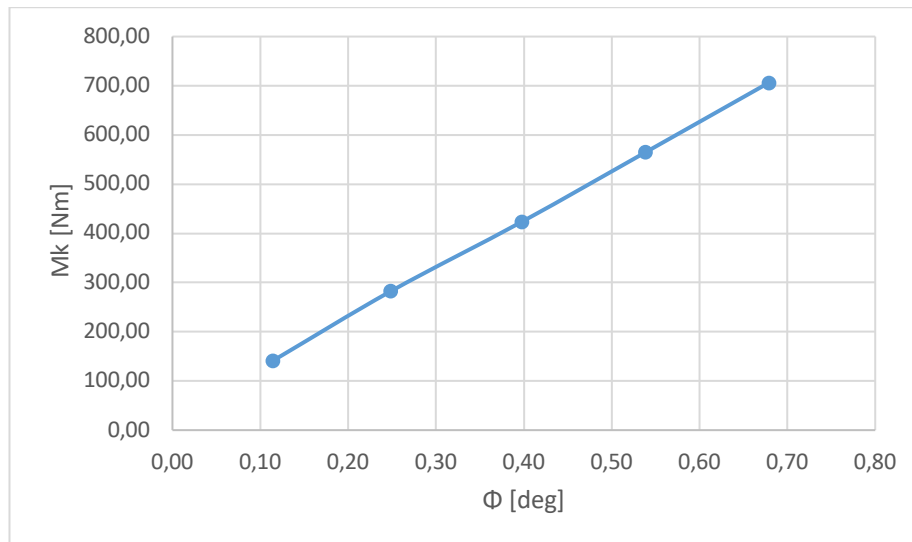
Vůz	FS.09								
Datum měření	20.12.17								
Číslo měření	10								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Levá								
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)								
Místo měření zadní část	přípravek (565 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	0,54	0,2	0,12	0,02	0,10	141,26	1365,17	1132,41	
24	1,28	0,53	0,29	0,05	0,24	282,53	1179,14		
36	2,05	0,66	0,47	0,07	0,40	423,79	1051,89		
48	2,74	0,82	0,63	0,08	0,54	565,06	1037,22		
60	3,43	0,98	0,79	0,10	0,69	706,32	1028,62		

Tab. 1 Zapsané hodnoty z 10. měření vozu FS.09



Graf 1- Závislost torzní tuhosti na kroutícím momentu

Z grafu 1 je patrné, že torzní tuhost se zvyšujícím se kroutícím momentem klesá. Klesání je nelineární a pokles se kolem hodnoty kroutícího momentu 500 Nm ustaluje.



Graf 2-Závislost kroutícího momentu na úhlu natočení

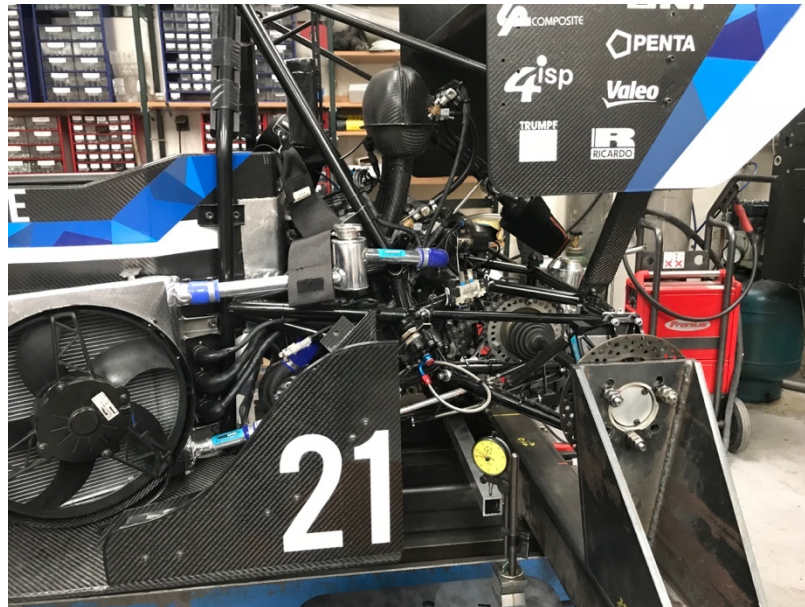
Z grafu 2 je patrné, že se hodnoty úhlu natočení vzhledem k hodnotám kroutícího momentu zvyšují téměř lineárně.

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,11	141,26	1244,74
0,25	282,53	1137,32
0,40	423,79	1064,86
0,54	565,06	1048,88
0,68	706,32	1040,33
Průměrná torzní tuhost celková		1107,23

Tab. 3-Zprůměrované hodnoty z 9 a 10 měření

3.3.2.2. FS.10

Měření vozu FS.10 proběhlo na jaře 2018, jakmile se výroba vozu dokončila. Tudíž jsme očekávali, že výsledky měření budou, pokud možno, co nejbližší hodnotám, které byly spočítány pomocí simulace. Při měření vozu FS.10 nastaly opět komplikace, kdy bylo nadále potřeba experiment zdokonalovat, aby bylo měření korektní. Ciferníkové úchylkoměry již nebyli nastaveny na odečítání hodnot z přípravku, ve kterém byl vůz uchycen, ale již byly nastaveny tak, aby odečítaly hodnoty natočení přímo z nosné konstrukce. To bylo zajištěno pomocí tyčí čtvercového, či obdélníkového průřezu, které byly připevněny k nosné konstrukci viz. Obr. 31 a Obr. 32. Při tomto měření byl již brán zřetel na výskyt hystereze, tudíž byl postup měření upraven, jak již bylo zmíněno výše. Hodnoty naměřené na ciferníkových úchylkoměrech byly odečítány i při postupném odstraňování závaží ze zavěšené klece na přípravku.



Obr. 32-Příklad odečítání hodnot v zadní části vozu



Obr. 33-Příklad odečítání hodnot v přední části vozu

Příklad provedeného měření. Toto měření bylo provedeno na celé délce nosné konstrukce vozu FS.10 za pomoci úprav, které vedli k jeho zpřesnění. Stejně jako tomu bylo u měření vozu FS.09 bylo závaží zavěšeno na jednu stranu přípravku a po uskutečnění měření se závaží umístilo na stranu druhou. Výsledek měření se zprůměroval z hodnot naměřených na obou stranách. Zde již lze očekávat výsledky zatížené hysterezí.

Vůz	FS.10								
Datum měření	24.05.18								
Číslo měření	22								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Pravá								
Místo měření přední část	jekl_nos (750 mm)								
Místo měření zadní část	jekl_konec(445 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	1,61	0,4	0,12	0,05	0,07	141,26	1975,92	2981,28	
24	3,34	0,98	0,26	0,13	0,13	282,53	2190,54		
36	5,07	1,74	0,39	0,22	0,16	423,79	2595,46		
48	7	2,86	0,53	0,37	0,17	565,06	3393,48		
60	9,02	4,18	0,69	0,54	0,15	706,32	4681,78		
48	7,82	3,76	0,60	0,48	0,11	565,06	4988,28		
36	6,15	2,68	0,47	0,35	0,12	423,79	3396,94		
24	4,31	1,5	0,33	0,19	0,14	282,53	2075,50		
12	2,79	0,94	0,21	0,12	0,09	141,26	1533,64		

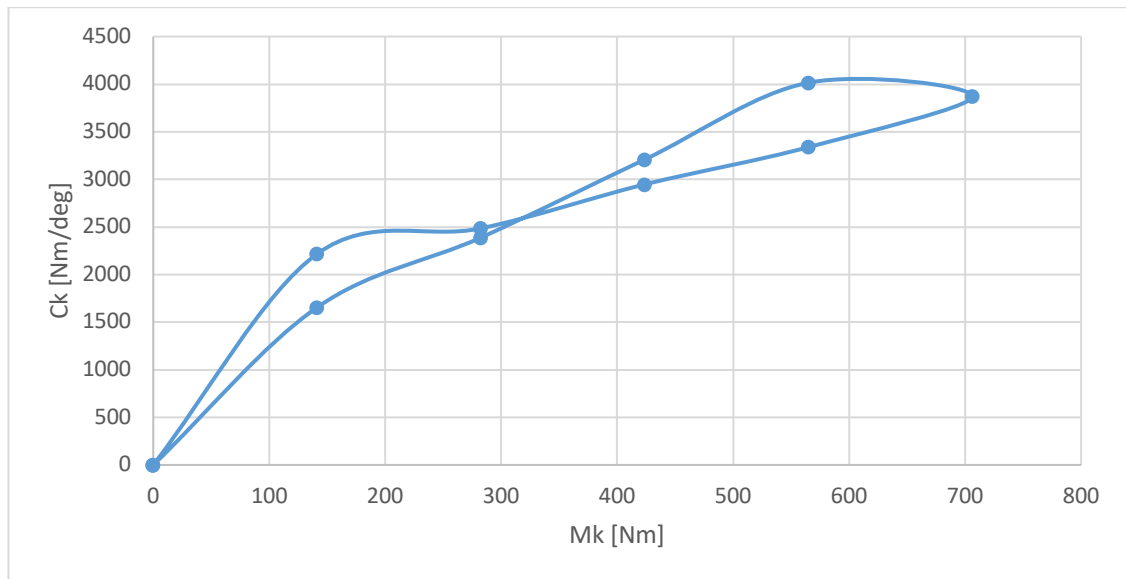
Tab. 5-Zapsané hodnoty z 22. měření vozu FS.10

Vůz	FS.10								
Datum měření	24.05.18								
Číslo měření	23								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Levá								
Místo měření přední část	jekl_nos (750 mm)								
Místo měření zadní část	jekl_konec(445 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	1,46	0,42	0,11	0,05	0,06	141,26	2458,53	2824,97	
24	3,1	1,05	0,24	0,14	0,10	282,53	2779,99		
36	4,85	1,88	0,37	0,24	0,13	423,79	3299,27		
48	6,55	2,55	0,50	0,33	0,17	565,06	3284,26		
60	8,11	3,02	0,62	0,39	0,23	706,32	3061,62		
48	7,15	2,8	0,55	0,36	0,19	565,06	3042,92		
36	6,05	2,5	0,46	0,32	0,14	423,79	3020,77		
24	4,74	2	0,36	0,26	0,10	282,53	2701,11		
12	3,35	1,37	0,26	0,18	0,08	141,26	1776,32		

Tab. 4 Zapsané hodnoty z 23. měření vozu FS.10

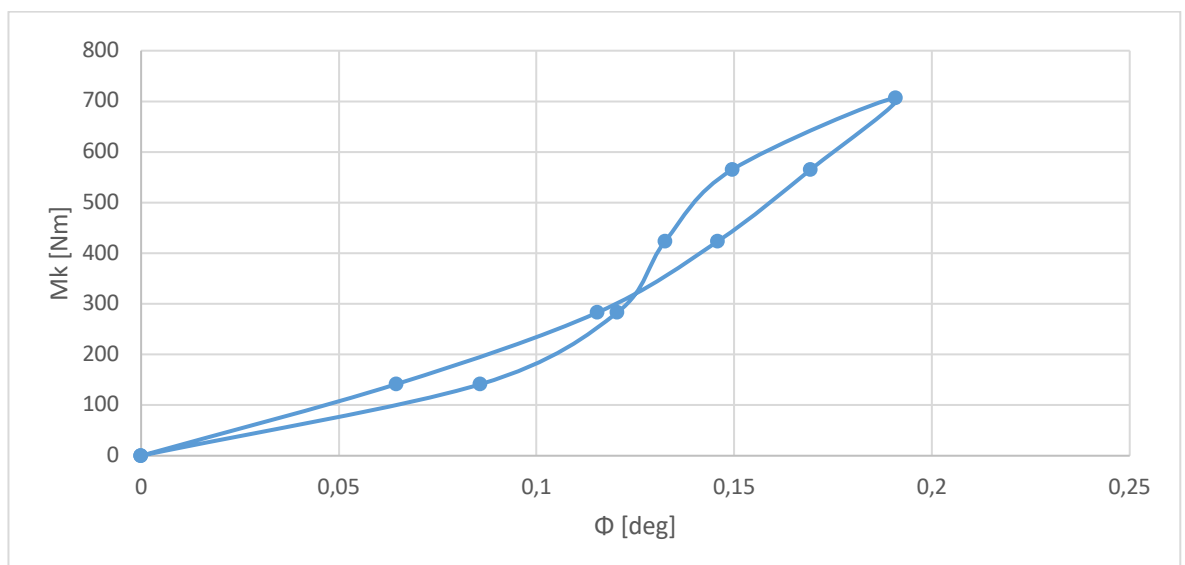
Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0	0	0
0,06	141,264	2217,22
0,12	282,528	2485,27
0,15	423,792	2947,36
0,17	565,056	3338,87
0,19	706,32	3871,70
0,15	565,056	4015,60
0,13	423,792	3208,86
0,12	282,528	2388,31
0,09	141,264	1654,98
0	0	0
Průměrná torzní tuhost celková		2903,13

Tab. 6-Zprůměrované hodnoty z 9 a 10 měření



Graf 3- Závislost torzní tuhosti na kroutícím momentu

Z tohoto grafu je patrné že měření je zatíženo hysterezí. To může být způsobeno vlivem tření nebo vlivem elastické deformace materiálu. Přičemž při odstranění zatížení se materiál do původního stavu vrací pomaleji.



Graf 4-Závislost kroutícího momentu na úhlu natočení

Jako v grafu 3, tak i v grafu 4 je vidět hystereze.

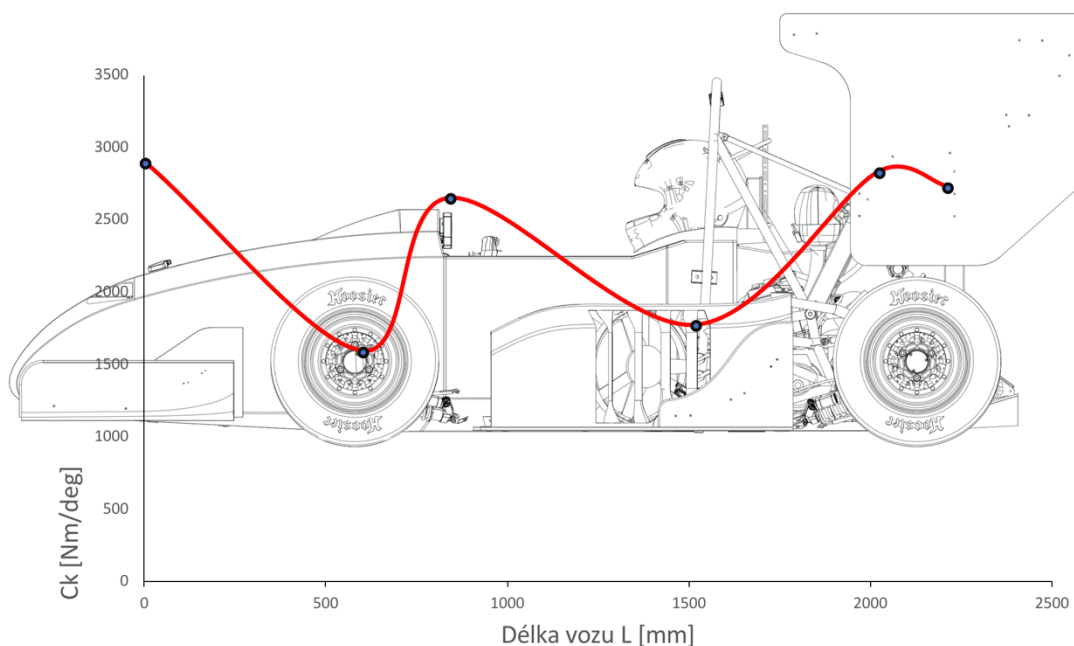
4. Závěr

Toto měření sloužilo k validaci simulací na základě kterých, se nosná konstrukce dimenzuje. Dále sloužilo k identifikaci míst nosné konstrukce, které mají největší vliv na výslednou torzní tuhost. Dlouhodobé experimentální měření může přispět k porovnání a monitorování opotřebení nosné konstrukce. Je nutno podotknout, že samotné měření není vůbec jednoduché a je potřeba zajistit mnoho faktorů, které do měření mohou vnášet chybu. V experimentálním měření vozů FS.09 a FS.10 byly chyby v měření odstraňovány postupně v průběhu získávání zkušeností na základě výsledků z jednotlivých měření. Avšak i měření vozu FS.10 je zatíženo chybou, jelikož hodnoty vertikálního posuvu v závislosti na délce nosné konstrukce nebyly odečítány ve stejné vzdálenosti od podélné osy vozu. Tuto nepřesnost již není možné v této práci odstranit. Může však sloužit jako podklad pro budoucí měření, které je v rámci zdokonalení experimentu nezbytné.

4.1. Zhodnocení nosné konstrukce vozu FS.10

FS.10		
Oblast nosné konstrukce	Vzdálenost od počátku [mm]	Výsledná torzní tuhost [Nm/deg]
Přední část	0	2903,125
Přední náprava	600	1597,24
Tlumič	840	2653,95
Hlavní oblouk	1515	1778,105
Motor	2020	2831
Zadní část rámu	2210	2733,635

Tab. 7-Hodnoty torzní tuhostí po délce nosné konstrukce



Graf 5-Závislost torzní tuhosti na délce nosné konstrukce vozu FS.10

Z grafu 5 je názorně vidět průběh torzní tuhosti. Nacházejí se zde dva vrcholy s minimy. Minimální hodnota torzní tuhosti v místě šroubového spoje uhlíkového monokoku a trubkového rámu byla očekávána, jelikož se jedná o místo, kde je šroubový spoj. Tudiž se jedná o nejslabší část nosné konstrukce, což experimentální měření potvrdilo. Další minimum, které se nachází v místě uchycení přední nápravy, je pravděpodobně milná hodnota vlivem nesprávného měření v tomto místě. Hodnoty vertikálního posuvu zde byly odečítány z těhlice a také z přípravku. Zde je pravděpodobně chyba vnesena tuhostí náprav, jelikož část deformace nápravy pohltily. Tudiž rozhodnutí odečítat hodnoty z těhlice a přípravku bylo nesprávné. Dále je vidět, že v blízkosti motoru torzní tuhost opět roste. Motor je v rámu usazen a zároveň slouží jako nosný prvek pro celý rám. Motor je tedy zároveň součástí rámu. Průměrná odchylka experimentálně naměřených hodnot od hodnot spočítaných pomocí simulace činí přibližně 13 %.

4.2. Zhodnocení nosné konstrukce vozu FS.09

Závěry z experimentálního měření nosné konstrukce vozu FS. 09 jsou velice problematické. Měření vozu FS.09 nebylo provedeno správně, jelikož hodnoty vertikálních posuvů byly odečítány z přípravku, a ne přímo z natočení nosné konstrukce vozu. Dále nebyl brán zřetel na výskyt hystereze. Z takto naměřených hodnot, byly hodnoty torzní tuhosti velice nízké vzhledem k výpočtu, který byl uskutečněn pomocí simulace. Odchylka experimentálně naměřených hodnot od hodnot spočítaných pomocí simulace činí v tomto případě 75 %. I přes očekávání nižších hodnot torzní tuhosti vzhledem ke staří vozu, je tato odchylka příliš vysoká. Takto vysoká odchylka je pravděpodobně způsobena i nevhodným postupem při měření.

4.3. Náprava chyb pro další měření

Experimentální měření touto prací nekončí. Je nadále potřeba měření provádět, aby výsledky byly získávány stále přesněji. Je nutné, aby odečítání hodnot vertikálních posuvů z ciferníkových úchylkoměrů bylo provedeno správně. Tudiž je potřeba na vůz vždy připevnit pomocný přípravek, například tyče čtvercového průřezu na místa, kde je potřeba hodnoty torzní tuhosti zjistit, tak jako tomu bylo v měření vozu FS.10. Dále je nutné, aby ciferníkové úchylkoměry byly vždy ustaveny po celé délce nosné konstrukce ve stejné vzdálenosti od podélné osy vozu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] APETAUR, Milan, Miroslav HANKE, Zdeněk KEJVAL a Milan ROST. *Karosérie*. České vysoké učení technické v Praze: ČVUT, 1985. ISBN 80-01-00955-6.
- [2] MILLIKEN, William F. a Douglas L. MILLIKEN. *Race car vehicle dynamics*. Warrendale, PA, U.S.A.: SAE International, c1995. ISBN 1560915269.
- [3] ŠIMON, Petr. Karosérie osobního automobilu. *DOCPLAYR* [online]. Škoda Auto a.s., 2015, 2015 [cit. 2018-07-08]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18241549-Karoserie-osobniho-automobilu-ing-petr-simon-skoda-auto-a-s-04-03-2015.html>
- [4] KUDR, Jan. *Zařízení pro měření torzní tuhosti karoserie* [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2013 [cit. 2018-07-08]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/25880>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Ondřej Blaťák.
- [5] Frame Twist Test – Chevy Silverado 3500HD Vs Ford Super Duty. *Furious.one* [online]. 2016 [cit. 2018-07-08]. Dostupné z: <http://furious.one/frame-twist-test-chevy-silverado-3500hd-vs-ford-super-duty/>
- [6] LONNY L., THOMSON, JON K., LAMPERT, E. HARRY LAW, Design of twist fixture to measure the torsional stiffness of a Winston cup chassis, 1998, SAE technical paper series 983054

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-Nosná konstrukce vozu FS.10	9
Obr. 2-Vůz FS.10.....	10
Obr. 3-Tým CTU CarTech na závodech v Maďarsku 2016.....	10
Obr. 4-Samonosná karosérie Škoda Superb II [3]	11
Obr. 5-CFK Monococque Pagani Huayra, Ženeva 2012 [2]	12
Obr. 6-Schéma vertikálního zatížení [1].....	13
Obr. 7-Schéma torzního zatížení [1]	14
Obr. 8-Demonstrace rozdílné torzní tuhosti [5].....	16
Obr. 9-schéma metodiky měření pomocí rámu na řetězech [2]	17
Obr. 10-Ukázka náhrady pružiny pevnou vzpěrou na vozu FS.10.....	18
Obr. 11-Ohybová a torzní tuhost po délce karosérie vozidla [2]	19
Obr. 12-Ukázka přípravku pro měření torzní tuhosti [6].....	20
Obr. 13- Zadní část přípravku [6].....	21
Obr. 14-Přední část přípravku	21
Obr. 15-Ukázka propojení zadního přípravku a karosérie [6].....	22
Obr. 16-Ukázka výsledků měření torzní tuhosti [6]	24
Obr. 17-Schéma pro měření torzní tuhosti [1].....	25
Obr. 18-Vůz FS.09.....	26
Obr. 19-Vůz FS.10.....	26
Obr. 20-Přípravek, který byl použit pro měření torzní tuhosti vozů FS.09 a FS.10.....	27
Obr. 21-Znázornění potřebných úprav.....	28
Obr. 22- Část přípravku pro měření torzní tuhosti.....	28
Obr. 23-Model pro výpočet.....	29
Obr. 24-Ukázka výsledné simulace.....	29
Obr. 25-Schéma pro znázornění výpočtu	30
Obr. 26-Instalace vozu FS.09 do zkušebního přípravku.....	31
Obr. 27-Ukázka uchycení vozu FS.09	32
Obr. 28-Vůz FS.09 uchycen ven zkušebním přípravku.....	32
Obr. 29-Ukázka zatížení při experimentu.....	33
Obr. 30-Úchylkoměr na zadní části přípravku.....	34
Obr. 31-Úchylkoměr na přední části přípravku	34
Obr. 32-Příklad odečítání hodnot v zadní části vozu.....	37
Obr. 33-Příklad odečítání hodnot v přední části vozu	37

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1- Závislost torzní tuhosti na kroutícím momentu	35
Graf 2-Závislost kroutícího momentu na úhlu natočení.....	36
Graf 3- Závislost torzní tuhosti na kroutícím momentu	39
Graf 4-Závislost kroutícího momentu na úhlu natočení.....	39
Graf 5-Závislost torzní tuhosti na délce nosné konstrukce vozu FS.10.....	41

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Zapsané hodnoty z 10. měření vozu FS.09.....	35
Tab. 2- Zapsané hodnoty z 9. měření vozu FS.09.....	35
Tab. 3-Zprůměrované hodnoty z 9 a 10 měření	36
Tab. 4 Zapsané hodnoty z 23. měření vozu FS.10.....	38
Tab. 5-Zapsané hodnoty z 22. měření vozu FS.10.....	38
Tab. 6-Zprůměrované hodnoty z 9 a 10 měření	38
Tab. 7-Hodnoty torzní tuhostí po délce nosné konstrukce.....	41



SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1-Protokol z 1. a 2. měření*
- Příloha 2-Protokol z 3. a 4. měření*
- Příloha 3-Protokol z 5. a 6. měření*
- Příloha 4-Protokol ze 7. a 8. měření*
- Příloha 5-Protokol z 9. a 10. měření*
- Příloha 6-Protokol z 11. a 12. měření*
- Příloha 7-Protokol ze 13. a 14. měření*
- Příloha 8-Protokol z 15. a 16. měření*
- Příloha 9-Protokol ze 17. 18. a 19. měření*
- Příloha 10-Protokol z 20. a 21. měření*
- Příloha 11-Protokol z 22. a 23. měření*
- Příloha 12-Protokol z 24. a 25. měření*
- Příloha 13-Protokol z 26. a 27. měření*
- Příloha 14-Protokol z 28. a 29. měření*
- Příloha 15-Protokol z 34. a 35. měření*
- Příloha 16-Protokol z 36. a 37. měření*
- Příloha 17-Protokol z 38. a 39. měření*

Příloha 1-Protokol z 1. a 2. měření

Vůz	FS.09						
Datum měření	27.11.17						
Číslo měření	1						
Rameno zatížení	1200 mm						
Zatížena strana	Levá						
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)						
Místo měření zadní část	neměřeno						
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	0,52		0,12		141,26	1185,35	1063,90
24	1,06		0,24		282,53	1162,99	
36	1,75		0,40		423,79	1056,67	
48	2,35		0,54		565,06	1049,19	
60	3,15		0,72		706,32	978,43	
72	3,89		0,89		847,58	950,79	

Vůz	FS.09						
Datum měření	27.11.17						
Číslo měření	2						
Rameno zatížení	1200 mm						
Zatížena strana	Pravá						
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)						
Místo měření zadní část	neměřeno						
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	0,53		0,12		141,26	1162,98	1019,52
24	1,12		0,26		282,53	1100,69	
36	1,88		0,43		423,79	983,60	
48	2,59		0,59		565,06	951,97	
60	3,14		0,72		706,32	981,55	
72	3,95		0,91		847,58	936,35	

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,12	141,26	1174,166281
0,25	282,53	1131,837897
0,42	423,79	1020,136959
0,57	565,06	1000,581091
0,72	706,32	979,9913364
0,90	847,58	943,5720817
Průměrná torzní tuhost celková		1061,34

Příloha 2-Protokol z 3. a 4. měření

Vůz	FS.09						
Datum měření	27.11.17						
Číslo měření	3						
Rameno zatížení	1200 mm						
Zatížena strana	Levá						
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)						
Místo měření zadní část	neměřeno						
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	0,5		0,11		141,26	1232,76	1272,16
24	0,98		0,22		282,53	1257,93	
36	1,43		0,33		423,79	1293,12	
48	1,78		0,41		565,06	1385,15	
60	2,19		0,50		706,32	1407,30	
72	3,5		0,80		847,58	1056,72	

Vůz	FS.09						
Datum měření	27.11.17						
Číslo měření	4						
Rameno zatížení	1200 mm						
Zatížena strana	Pravá						
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)						
Místo měření zadní část	neměřeno						
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	0,51		0,12		141,26	1208,59	1132,27
24	1,04		0,24		282,53	1185,35	
36	1,61		0,37		423,79	1148,55	
48	2,27		0,52		565,06	1086,16	
60	2,82		0,65		706,32	1092,92	
72	3,45		0,79		847,58	1072,03	

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,51	141,26	1220,676726
1,01	282,53	1221,63985
1,52	423,79	1220,835467
2,03	565,06	1235,655464
2,51	706,32	1250,108451
3,48	847,58	1064,377687
Průměrná torzní tuhost celková		1229,78

Příloha 3-Protokol z 5. a 6. měření

Vůz	FS.09						
Datum měření	27.11.17						
Číslo měření	5						
Rameno zatížení	1200 mm						
Zatížena strana	Levá						
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)						
Místo měření zadní část	neměřeno						
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	0,49		0,11		141,26	1257,92	1158,80
24	1,02		0,23		282,53	1208,60	
36	1,57		0,36		423,79	1177,81	
48	2,25		0,52		565,06	1095,82	
60	2,78		0,64		706,32	1108,64	
72	3,35		0,77		847,58	1104,03	

Vůz	FS.09						
Datum měření	27.11.17						
Číslo měření	6						
Rameno zatížení	1200 mm						
Zatížena strana	Pravá						
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)						
Místo měření zadní část	neměřeno						
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	0,5		0,11		141,26	1232,76	1169,38
24	1		0,23		282,53	1232,77	
36	1,51		0,35		423,79	1224,61	
48	2,2		0,50		565,06	1120,72	
60	2,79		0,64		706,32	1104,67	
72	3,36		0,77		847,58	1100,75	

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,11	141,26	1245,341778
0,23	282,53	1220,681706
0,35	423,79	1201,212223
0,51	565,06	1108,268905
0,64	706,32	1106,657023
0,77	847,58	1102,388403
Průměrná torzní tuhost celková		1176,43

Příloha 4-Protokol ze 7. a 8. měření

Vůz	FS.09						
Datum měření	27.11.17						
Číslo měření	7						
Rameno zatížení	1200 mm						
Zatížena strana	Levá						
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)						
Místo měření zadní část	neměřeno						
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	0,44		0,10		141,26	1400,87	1098,55
24	0,99		0,23		282,53	1245,22	
36	1,69		0,39		423,79	1094,18	
48	2,45		0,56		565,06	1006,37	
60	3,24		0,74		706,32	951,26	
72	4,14		0,95		847,58	893,39	

Vůz	FS.09						
Datum měření	27.11.17						
Číslo měření	8						
Rameno zatížení	1200 mm						
Zatížena strana	Pravá						
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)						
Místo měření zadní část	neměřeno						
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	0,44		0,10		141,26	1400,87	1104,51
24	0,99		0,23		282,53	1245,22	
36	1,66		0,38		423,79	1113,96	
48	2,44		0,56		565,06	1010,49	
60	3,2		0,73		706,32	963,15	
72	4,14		0,95		847,58	893,39	

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,10	141,26	1400,866171
0,23	282,53	1245,219597
0,38	423,79	1104,070096
0,56	565,06	1008,429788
0,74	706,32	957,2023943
0,95	847,58	893,3866936
Průměrná torzní tuhost celková		1143,16

Příloha 5-Protokol z 9. a 10. měření

Vůz	FS.09								
Datum měření	20.12.17								
Číslo měření	9								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Pravá								
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)								
Místo měření zadní část	přípravek (565 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	0,65	0,23	0,15	0,02	0,13	141,26	1124,31	1082,05	
24	1,32	0,44	0,30	0,04	0,26	282,53	1095,50		
36	1,99	0,62	0,46	0,06	0,39	423,79	1077,83		
48	2,67	0,78	0,61	0,08	0,53	565,06	1060,55		
60	3,35	0,95	0,77	0,10	0,67	706,32	1052,04		

Vůz	FS.09								
Datum měření	20.12.17								
Číslo měření	10								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Levá								
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)								
Místo měření zadní část	přípravek (565 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	0,54	0,2	0,12	0,02	0,10	141,26	1365,17	1132,41	
24	1,28	0,53	0,29	0,05	0,24	282,53	1179,14		
36	2,05	0,66	0,47	0,07	0,40	423,79	1051,89		
48	2,74	0,82	0,63	0,08	0,54	565,06	1037,22		
60	3,43	0,98	0,79	0,10	0,69	706,32	1028,62		

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,11	141,26	1244,74
0,25	282,53	1137,32
0,40	423,79	1064,86
0,54	565,06	1048,88
0,68	706,32	1040,33
Průměrná torzní tuhost celková		1107,23

Příloha 6-Protokol z 11. a 12. měření

Vůz	FS.09								
Datum měření	20.12.17								
Číslo měření	11								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Pravá								
Místo měření přední část	u tlumiče (160 mm)								
Místo měření zadní část	přípravek (565 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	0,21	0,2	0,08	0,02	0,05	141,26	2572,23	2458,59	
24	0,44	0,43	0,16	0,04	0,11	282,53	2479,24		
36	0,67	0,63	0,24	0,06	0,18	423,79	2407,40		
48	0,88	0,8	0,32	0,08	0,23	565,06	2414,80		
60	1,09	0,97	0,39	0,10	0,29	706,32	2419,27		

Vůz	FS.09								
Datum měření	20.12.17								
Číslo měření	12								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Levá								
Místo měření přední část	u tlumiče (160 mm)								
Místo měření zadní část	přípravek (565 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	0,09	0,03	0,03	0,00	0,03	141,26	4840,03	3032,62	
24	0,3	0,12	0,11	0,01	0,10	282,53	2965,85		
36	0,5	0,16	0,18	0,02	0,16	423,79	2602,77		
48	0,69	0,3	0,25	0,03	0,22	565,06	2607,98		
60	1,12	0,71	0,40	0,07	0,33	706,32	2146,45		

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,04	141,26	3706,13
0,10	282,53	2722,55
0,17	423,79	2505,08
0,23	565,06	2511,39
0,31	706,32	2282,86
Průměrná torzní tuhost celková		2745,60

Příloha 7-Protokol ze 13. a 14. měření

Vůz	FS.09								
Datum měření	20.12.17								
Číslo měření	13								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Levá								
Místo měření přední část	MainHoop (280 mm)								
Místo měření zadní část	přípravek (565 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	0,21	0,03	0,04	0,00	0,04	141,26	3537,83	3704,73	
24	0,5	0,16	0,10	0,02	0,09	282,53	3281,83		
36	0,83	0,53	0,17	0,05	0,12	423,79	3650,42		
48	1,15	0,9	0,24	0,09	0,14	565,06	3922,55		
60	1,46	1,26	0,30	0,13	0,17	706,32	4131,02		

Vůz	FS.09								
Datum měření	20.12.17								
Číslo měření	14								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Pravá								
Místo měření přední část	MainHoop (280 mm)								
Místo měření zadní část	přípravek (565 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	0,4	0,2	0,08	0,02	0,06	141,26	2294,39	2434,40	
24	0,82	0,44	0,17	0,04	0,12	282,53	2293,72		
36	1,2	0,67	0,25	0,07	0,18	423,79	2386,11		
48	1,47	0,84	0,30	0,09	0,22	565,06	2620,65		
60	1,83	0,99	0,37	0,10	0,27	706,32	2577,16		

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,05	141,26	2916,11
0,10	282,53	2787,78
0,15	423,79	3018,26
0,18	565,06	3271,60
0,22	706,32	3354,09
Průměrná torzní tuhost celková		3069,57

Příloha 8-Protokol z 15. a 16. měření

Vůz	FS.10								
Datum měření	20.05.18								
Číslo měření	15								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Levá								
Místo měření přední část	Přípravek (250 mm)								
Místo měření zadní část	přípravek (565 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	0,62	0,05	0,14	0,01	0,14	141,26	1030,95	907,78	
24	1,41	0,1	0,32	0,01	0,31	282,53	902,63		
36	2,2	0,14	0,50	0,01	0,49	423,79	864,89		
48	2,9	0,18	0,66	0,02	0,65	565,06	874,23		
60	3,66	0,23	0,84	0,02	0,82	706,32	866,20		

Vůz	FS.10								
Datum měření	20.05.18								
Číslo měření	16								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Pravá								
Místo měření přední část	Přípravek (250 mm)								
Místo měření zadní část	přípravek (565 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	0,8	0,05	0,18	0,01	0,18	141,26	792,39	718,63	
24	1,57	0,16	0,36	0,02	0,34	282,53	822,29		
36	2,36	0,27	0,54	0,03	0,51	423,79	825,34		
48	3,35	0,4	0,77	0,04	0,73	565,06	777,08		
60	4,24	0,52	0,97	0,05	0,92	706,32	768,65		
48	3,54	0,4	0,81	0,04	0,77	565,06	733,18		
36	2,86	0,29	0,66	0,03	0,63	423,79	676,96		
24	2,12	0,17	0,49	0,02	0,47	282,53	602,90		
12	1,35	0,08	0,31	0,01	0,30	141,26	468,88		

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,16	141,264	911,67
0,33	282,528	862,46
0,50	423,792	845,12
0,69	565,056	825,65
0,87	706,32	817,42
0,77	565,056	733,18
0,63	423,792	676,96
0,47	282,528	602,90
0,30	141,264	468,88
Průměrná torzní tuhost celková		749,36

Příloha 9-Protokol ze 17. 18. a 19. měření

Vůz	FS.10							
Datum měření	23.05.18							
Číslo měření	17							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Pravá							
Místo měření přední část	jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	jekl_vana (505 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	1,7	0,8	0,13	0,09	141,26	3612,46	6289,96	
24	3,48	1,71	0,27	0,19	282,53	3932,75		
36	5,61	3,04	0,43	0,34	423,79	5065,69		
48	7,91	4,77	0,60	0,54	565,06	8957,29		
60	9,84	5,97	0,75	0,68	706,32	9497,27		
48	8,45	5,24	0,65	0,59	565,06	11076,96		
36	6,77	4,12	0,52	0,47	423,79	8519,56		
24	4,62	2,4	0,35	0,27	282,53	3503,45		
12	2,91	1,45	0,22	0,16	141,26	2444,25		

Vůz	FS.10							
Datum měření	23.05.18							
Číslo měření	18							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Pravá							
Místo měření přední část	jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	jekl_konec (445 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	1,73	0,48	0,13	0,06	141,26	2007,74	3487,84	
24	3,45	1,14	0,26	0,15	282,53	2419,34		
36	5,27	2,04	0,40	0,26	423,79	3028,51		
48	7,25	3,34	0,55	0,43	565,06	4563,90		
60	9,07	4,31	0,69	0,55	706,32	5120,18		
48	7,77	3,85	0,59	0,50	565,06	5773,52		
36	6,12	2,87	0,47	0,37	423,79	4324,29		
24	4,24	1,6	0,32	0,21	282,53	2396,29		
12	2,62	0,93	0,20	0,12	141,26	1756,78		

Vůz	FS.10							
Datum měření	23.05.18							
Číslo měření	19							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Pravá							
Místo měření přední část	jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	přípravek (585 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	1,8	0,26	0,14	0,03	141,26	1260,78	1135,35	
24	3,58	0,53	0,27	0,05	282,53	1275,06		
36	5,48	0,81	0,42	0,08	423,79	1249,01		
48	7,57	1,11	0,58	0,11	565,06	1203,35		
60	9,6	1,62	0,73	0,16	706,32	1229,06		
48	8,06	1,18	0,62	0,12	565,06	1129,79		
36	6,38	0,81	0,49	0,08	423,79	1038,57		
24	4,33	0,55	0,33	0,05	282,53	1020,27		
12	2,61	0,26	0,20	0,03	141,26	812,22		

Příloha 10-Protokol z 20. a 21. měření

Vůz	FS.10							
Datum měření	23.05.18							
Číslo měření	20							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Pravá							
Místo měření přední část	jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	přípravek (585 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	1,91	0,32	0,15	0,03	0,11	141,26	1232,98	1158,80
24	4,15	0,91	0,32	0,09	0,23	282,53	1239,67	
36	6,67	1,93	0,51	0,19	0,32	423,79	1322,24	
48	9,13	2,49	0,70	0,24	0,45	565,06	1245,79	
60	11,05	3,03	0,84	0,30	0,55	706,32	1290,47	
48	9,6	2,63	0,73	0,26	0,48	565,06	1187,69	
36	7,82	2,08	0,60	0,20	0,39	423,79	1076,53	
24	5,33	1,45	0,41	0,14	0,27	282,53	1065,50	
12	3,24	0,65	0,25	0,06	0,18	141,26	768,35	

Vůz	FS.10							
Datum měření	23.05.18							
Číslo měření	21							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Levá							
Místo měření přední část	jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	přípravek (585 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	1,62	0,12	0,12	0,01	0,11	141,26	1261,22	948,97
24	3,78	0,3	0,29	0,03	0,26	282,53	1089,22	
36	6,33	0,46	0,48	0,05	0,44	423,79	966,43	
48	8,44	0,64	0,64	0,06	0,58	565,06	970,79	
60	10,5	0,8	0,80	0,08	0,72	706,32	975,94	
48	8,9	0,72	0,68	0,07	0,61	565,06	927,29	
36	7,82	0,55	0,60	0,05	0,54	423,79	779,73	
24	5,1	0,38	0,39	0,04	0,35	282,53	801,75	
12	3,24	0,65	0,25	0,06	0,18	141,26	768,35	

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,11	141,264	1247,10
0,24	282,528	1164,44
0,38	423,792	1144,34
0,52	565,056	1108,29
0,64	706,32	1133,20
0,54	565,056	1057,49
0,47	423,792	928,13
0,31	282,528	933,63
0,18	141,264	768,35
Průměrná torzní tuhost celková		1053,88

Příloha 11-Protokol z 22. a 23. měření

Vůz	FS.10								
Datum měření	24.05.18								
Číslo měření	22								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Pravá								
Místo měření přední část	jekl_nos (750 mm)								
Místo měření zadní část	jekl_konec(445 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	1,61	0,4	0,12	0,05	0,07	141,26	1975,92	2981,28	
24	3,34	0,98	0,26	0,13	0,13	282,53	2190,54		
36	5,07	1,74	0,39	0,22	0,16	423,79	2595,46		
48	7	2,86	0,53	0,37	0,17	565,06	3393,48		
60	9,02	4,18	0,69	0,54	0,15	706,32	4681,78		
48	7,82	3,76	0,60	0,48	0,11	565,06	4988,28		
36	6,15	2,68	0,47	0,35	0,12	423,79	3396,94		
24	4,31	1,5	0,33	0,19	0,14	282,53	2075,50		
12	2,79	0,94	0,21	0,12	0,09	141,26	1533,64		

Vůz	FS.10								
Datum měření	24.05.18								
Číslo měření	23								
Rameno zatížení	1200 mm								
Zatížena strana	Levá								
Místo měření přední část	jekl_nos (750 mm)								
Místo měření zadní část	jekl_konec(445 mm)								
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]	
12	1,46	0,42	0,11	0,05	0,06	141,26	2458,53	2824,97	
24	3,1	1,05	0,24	0,14	0,10	282,53	2779,99		
36	4,85	1,88	0,37	0,24	0,13	423,79	3299,27		
48	6,55	2,55	0,50	0,33	0,17	565,06	3284,26		
60	8,11	3,02	0,62	0,39	0,23	706,32	3061,62		
48	7,15	2,8	0,55	0,36	0,19	565,06	3042,92		
36	6,05	2,5	0,46	0,32	0,14	423,79	3020,77		
24	4,74	2	0,36	0,26	0,10	282,53	2701,11		
12	3,35	1,37	0,26	0,18	0,08	141,26	1776,32		

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,06	141,264	2217,22
0,12	282,528	2485,27
0,15	423,792	2947,36
0,17	565,056	3338,87
0,19	706,32	3871,70
0,15	565,056	4015,60
0,13	423,792	3208,86
0,12	282,528	2388,31
0,09	141,264	1654,98
Průměrná torzní tuhost celková		2903,13

Příloha 12-Protokol z 24. a 25 měření

Vůz	FS.10							
Datum měření	24.05.18							
Číslo měření	24							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Levá							
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)							
Místo měření zadní část	jekl_konec(445 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	0,52	0,35	0,12	0,05	0,07	141,26	1906,11	1690,25
24	1,14	0,83	0,26	0,11	0,15	282,53	1829,84	
36	1,86	1,65	0,43	0,21	0,21	423,79	1981,92	
48	2,57	2,25	0,59	0,29	0,30	565,06	1888,02	
60	3,19	2,65	0,73	0,34	0,39	706,32	1811,73	
48	2,82	2,03	0,65	0,26	0,38	565,06	1468,06	
36	2,35	1,83	0,54	0,24	0,30	423,79	1398,91	
24	1,67	1,6	0,38	0,21	0,18	282,53	1598,70	
12	1,02	0,99	0,23	0,13	0,11	141,26	1328,93	

Vůz	FS.10							
Datum měření	24.05.18							
Číslo měření	25							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Pravá							
Místo měření přední část	přípravek (250 mm)							
Místo měření zadní část	jekl_konec(445 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	0,76	0,51	0,17	0,07	0,11	141,26	1301,81	1504,23
24	1,47	1,05	0,34	0,14	0,20	282,53	1400,71	
36	2,19	1,79	0,50	0,23	0,27	423,79	1561,34	
48	2,98	2,89	0,68	0,37	0,31	565,06	1817,85	
60	3,9	4,24	0,89	0,55	0,35	706,32	2030,60	
48	3,15	3,13	0,72	0,40	0,32	565,06	1771,93	
36	2,52	2,34	0,58	0,30	0,28	423,79	1534,15	
24	1,88	1,57	0,43	0,20	0,23	282,53	1235,30	
12	1,27	1,02	0,29	0,13	0,16	141,26	884,39	

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,09	141,264	1603,96
0,18	282,528	1615,27
0,24	423,792	1771,63
0,31	565,056	1852,94
0,37	706,32	1921,16
0,35	565,056	1619,99
0,29	423,792	1466,53
0,20	282,528	1417,00
0,13	141,264	1106,66
Průměrná torzní tuhost celková		1597,24

Příloha 13-Protokol z 26. a 27 měření

Vůz	FS.10							
Datum měření	24.05.18							
Číslo měření	26							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Pravá							
Místo měření přední část	jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	jekl_konec(445 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	1,57	0,28	0,12	0,04	0,08	141,26	1683,97	2359,49
24	3,04	0,66	0,23	0,08	0,15	282,53	1918,57	
36	4,54	1,19	0,35	0,15	0,19	423,79	2188,91	
48	6,22	2,04	0,48	0,26	0,21	565,06	2659,03	
60	8,06	3,21	0,62	0,41	0,20	706,32	3489,38	
48	6,93	2,9	0,53	0,37	0,16	565,06	3621,81	
36	5,23	1,7	0,40	0,22	0,18	423,79	2345,87	
24	3,78	1,09	0,29	0,14	0,15	282,53	1903,49	
12	2,36	0,63	0,18	0,08	0,10	141,26	1424,39	

Vůz	FS.10							
Datum měření	24.05.18							
Číslo měření	27							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Levá							
Místo měření přední část	jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	jekl_konec(445 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	1,36	0,39	0,10	0,05	0,05	141,26	2631,50	3107,78
24	2,91	0,99	0,22	0,13	0,09	282,53	2979,01	
36	4,62	1,83	0,35	0,24	0,12	423,79	3612,34	
48	6,32	2,54	0,48	0,33	0,16	565,06	3627,55	
60	7,81	2,97	0,60	0,38	0,21	706,32	3297,12	
48	6,89	2,77	0,53	0,36	0,17	565,06	3329,80	
36	5,85	2,5	0,45	0,32	0,13	423,79	3389,93	
24	4,59	2	0,35	0,26	0,09	282,53	3033,42	
12	3,27	1,41	0,25	0,18	0,07	141,26	2069,36	

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,07	141,264	2157,73
0,12	282,528	2448,79
0,16	423,792	2900,62
0,18	565,056	3143,29
0,21	706,32	3393,25
0,16	565,056	3475,80
0,15	423,792	2867,90
0,12	282,528	2468,46
0,08	141,264	1746,88
Průměrná torzní tuhost celková		2733,64

Příloha 14-Protokol z 28. a 29. měření

Vůz	FS.10							
Datum měření	24.05.18							
Číslo měření	28							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Pravá							
Místo měření přední část	Těhlice(550 mm)							
Místo měření zadní část	jekl_konec(445 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	1,66	0,4	0,17	0,05	0,12	141,26	1163,37	1374,54
24	3,06	0,78	0,32	0,10	0,22	282,53	1293,98	
36	4,53	1,32	0,47	0,17	0,30	423,79	1403,55	
48	6,13	2,16	0,64	0,28	0,36	565,06	1567,63	
60	7,91	3,35	0,82	0,43	0,39	706,32	1798,89	
48	6,82	2,98	0,71	0,38	0,33	565,06	1729,33	
36	5,32	1,94	0,55	0,25	0,30	423,79	1392,19	
24	3,91	1,27	0,41	0,16	0,24	282,53	1158,87	
12	2,56	0,8	0,27	0,10	0,16	141,26	863,05	

Vůz	FS.10							
Datum měření	24.05.18							
Číslo měření	29							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Levá							
Místo měření přední část	Těhlice(550 mm)							
Místo měření zadní část	jekl_konec(445 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	1,35	0,43	0,14	0,06	0,09	141,26	1656,66	1556,73
24	2,91	1,02	0,30	0,13	0,17	282,53	1644,38	
36	4,72	1,95	0,49	0,25	0,24	423,79	1761,25	
48	6,21	2,55	0,65	0,33	0,32	565,06	1773,71	
60	7,65	3,28	0,80	0,42	0,37	706,32	1885,66	
48	7,1	2,9	0,74	0,37	0,37	565,06	1542,97	
36	6,02	2,68	0,63	0,35	0,28	423,79	1502,57	
24	4,7	2,12	0,49	0,27	0,22	282,53	1304,08	
12	3,31	1,51	0,34	0,19	0,15	141,26	939,30	

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,10	141,264	1410,01
0,20	282,528	1469,18
0,27	423,792	1582,40
0,34	565,056	1670,67
0,38	706,32	1842,28
0,35	565,056	1636,15
0,29	423,792	1447,38
0,23	282,528	1231,48
0,16	141,264	901,17
Průměrná torzní tuhost celková		1465,63

Příloha 15-Protokol z 34. a 35. měření

Vůz	FS.10							
Datum měření	24.05.18							
Číslo měření	34							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Pravá							
Místo měření přední část	Jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	MainHoop(280 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	1,43	0,16	0,11	0,03	0,08	141,26	1846,51	2007,37
24	2,78	0,43	0,21	0,09	0,12	282,53	2271,39	
36	4,2	0,71	0,32	0,15	0,18	423,79	2413,84	
48	5,77	0,96	0,44	0,20	0,24	565,06	2312,53	
60	7,51	1,22	0,57	0,25	0,32	706,32	2179,61	
48	6,32	0,96	0,48	0,20	0,29	565,06	1973,24	
36	4,73	0,72	0,36	0,15	0,21	423,79	1980,25	
24	3,29	0,46	0,25	0,09	0,16	282,53	1797,17	
12	1,86	0,16	0,14	0,03	0,11	141,26	1291,82	

Vůz	FS.10							
Datum měření	24.05.18							
Číslo měření	35							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Levá							
Místo měření přední část	Jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	MainHoop(280 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	1,47	0,24	0,11	0,05	0,06	141,26	2235,58	1548,84
24	3,13	0,43	0,24	0,09	0,15	282,53	1869,52	
36	4,9	0,64	0,37	0,13	0,24	423,79	1741,38	
48	6,49	0,85	0,50	0,17	0,32	565,06	1755,63	
60	7,9	1,02	0,60	0,21	0,39	706,32	1789,18	
48	7,18	0,88	0,55	0,18	0,37	565,06	1533,72	
36	6,1	0,69	0,47	0,14	0,32	423,79	1304,77	
24	4,9	0,48	0,37	0,10	0,28	282,53	1023,26	
12	3,39	0,26	0,26	0,05	0,21	141,26	686,51	

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,07	141,264	2041,04
0,14	282,528	2070,46
0,21	423,792	2077,61
0,28	565,056	2034,08
0,36	706,32	1984,39
0,33	565,056	1753,48
0,27	423,792	1642,51
0,22	282,528	1410,21
0,16	141,264	989,16
Průměrná torzní tuhost celková		1778,11

Příloha 16-Protokol z 36. a 37. měření

Vůz	FS.10							
Datum měření	24.05.18							
Číslo měření	36							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Pravá							
Místo měření přední část	Jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	u tlumiče (160 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	1,54	0,15	0,12	0,05	0,06	141,26	2209,58	2769,37
24	3,05	0,37	0,23	0,13	0,10	282,53	2811,08	
36	4,49	0,58	0,34	0,21	0,14	423,79	3132,00	
48	6,18	0,82	0,47	0,29	0,18	565,06	3166,14	
60	8,01	1,03	0,61	0,37	0,24	706,32	2905,96	
48	6,9	0,87	0,53	0,31	0,22	565,06	2621,30	
36	5,22	0,75	0,40	0,27	0,13	423,79	3254,93	
24	3,8	0,59	0,29	0,21	0,08	282,53	3575,45	
12	3,31	0,39	0,25	0,14	0,11	141,26	1247,85	

Vůz	FS.10							
Datum měření	24.05.18							
Číslo měření	37							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Levá							
Místo měření přední část	Jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	u tlumiče (160 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	1,42	0,16	0,11	0,06	0,05	141,26	2759,92	2538,53
24	3	0,36	0,23	0,13	0,10	282,53	2817,77	
36	4,3	0,61	0,33	0,22	0,11	423,79	3850,80	
48	6,35	0,84	0,49	0,30	0,18	565,06	3066,08	
60	8,08	1,13	0,62	0,40	0,21	706,32	3322,33	
48	7,1	0,9	0,54	0,32	0,22	565,06	2567,29	
36	5,8	0,67	0,44	0,24	0,20	423,79	2086,06	
24	4,35	0,42	0,33	0,15	0,18	282,53	1553,11	
12	3,23	0,21	0,25	0,08	0,17	141,26	823,45	

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,06	141,264	2484,75
0,10	282,528	2814,42
0,12	423,792	3491,40
0,18	565,056	3116,11
0,23	706,32	3114,14
0,22	565,056	2594,29
0,17	423,792	2670,50
0,13	282,528	2564,28
0,14	141,264	1035,65
Průměrná torzní tuhost celková		2653,95

Příloha 17-Protokol z 38. a 39. měření

Vůz	FS.10							
Datum měření	24.05.18							
Číslo měření	38							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Pravá							
Místo měření přední část	Jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	Jekl_vana (505 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	1,35	0,49	0,10	0,06	0,05	141,26	2971,58	2938,45
24	2,77	1,07	0,21	0,12	0,09	282,53	3131,80	
36	4,33	1,85	0,33	0,21	0,12	423,79	3505,62	
48	6,57	2,93	0,50	0,33	0,17	565,06	3334,20	
60	8,4	4,2	0,64	0,48	0,17	706,32	4276,13	
48	7,1	3,33	0,54	0,38	0,16	565,06	3433,37	
36	5,82	2,52	0,44	0,29	0,16	423,79	2670,45	
24	4,25	1,67	0,32	0,19	0,14	282,53	2089,70	
12	3,26	0,99	0,25	0,11	0,14	141,26	1033,22	

Vůz	FS.10							
Datum měření	24.05.18							
Číslo měření	39							
Rameno zatížení	1200 mm							
Zatížena strana	Levá							
Místo měření přední část	Jekl_nos (750 mm)							
Místo měření zadní část	Jekl_vana (505 mm)							
Hmotnost závaží [kg]	Přední část [mm]	Zadní část [mm]	α [deg]	β [deg]	Φ [deg]	Krouticí moment [Nm]	T.tuhost [Nm/deg]	Průměrná tuhost [Nm/deg]
12	1,46	0,37	0,11	0,04	0,07	141,26	2030,92	2723,55
24	3,1	1,13	0,24	0,13	0,11	282,53	2601,19	
36	4,85	1,12	0,37	0,13	0,24	423,79	1740,88	
48	6,55	3,04	0,50	0,34	0,16	565,06	3634,61	
60	8,11	3,73	0,62	0,42	0,20	706,32	3597,30	
48	7,15	3,35	0,55	0,38	0,17	565,06	3401,33	
36	6,05	2,94	0,46	0,33	0,13	423,79	3295,01	
24	4,74	2,22	0,36	0,25	0,11	282,53	2563,04	
12	3,35	1,5	0,26	0,17	0,09	141,26	1647,69	

Průměr Φ [deg]	Mk [Nm]	Průměr Ck [Nm/°]
0,06	141,264	2501,25
0,10	282,528	2866,49
0,18	423,792	2623,25
0,16	565,056	3484,40
0,18	706,32	3936,71
0,17	565,056	3417,35
0,14	423,792	2982,73
0,12	282,528	2326,37
0,11	141,264	1340,46
Průměrná torzní tuhost celková		2831,00