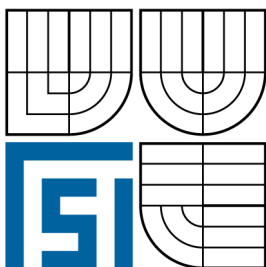


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ A SEŘÍZENÍ PODVOZKU ZÁVODNÍHO AUTOMOBILU

DESIGN OF FACILITIES FOR MEASURING AND SET-UP OF RACE CAR CHASSIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR HEJTMÁNEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR PORTEŠ, Dr.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Hejtmánek Petr, Bc.

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

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

Návrh zařízení pro měření a seřízení podvozku závodního automobilu.

v anglickém jazyce:

Design of facilities for measuring and set-up of race car chassis

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tématem práce je vývoj zařízení sloužícího k seřízení podvozku závodního vozidla před jeho jízdou.

Cíle diplomové práce:

Cílem je konstrukční návrh zařízení sloužícího k měření geometrie náprav, vyvážení vozu a přesnému nastavení seřizovacích hodnot závodního automobilu.

Seznam odborné literatury:

VLK,F. Dynamika motorových vozidel. ISBN 80-238-5273-6, Nakladatelství VLK, Brno 2000.

VLK,F. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. ISBN 80-234-6573-0, Nakladatelství VLK, Brno 2000.

Reimpell,J., Stoll,H., Edward,A. The automotive chassis - engineering principles. Arnold, London 1996. ISBN 0-340-61443-9.

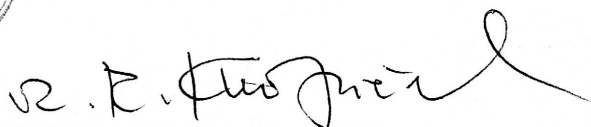
Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Porteš, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 19.11.2008



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace

Petr Hejtmánek

Návrh zařízení pro měření a seřízení podvozku závodního automobilu

DP, ÚADI, 2009, str. 69, obr. 79

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem zařízení pro měření geometrie a seřízení podvozku závodního automobilu. Byly vypracovány dvě varianty měřicího systému, postup měření každého systému byl popsán. Následuje analýza napjatostí hlavních částí zařízení. Poslední část tvoří rozbor faktorů ovlivňujících přesnost měření.

Klíčová slova: nastavení geometrie kol, závodní automobily, sbíhavost, odklon kola, příklon rejdové osy, záklon rejdové osy, měřicí zařízení

Anotation

Design of facilities for measuring and set-up of race car chassis

DP, ÚADI, 2009, p. 69, fig. 79

This Diploma thesis deals with the design of facilities for measuring wheel alignment and set-up of race car chassis. Two versions of measuring system have been elaborated, each measurement procedure is described. Stress analysis of main parts follow. The last part consists of factors affecting accuracy of measurement.

Key words: wheel alignment, racing cars, toe-in , camber, kingpin inclination, caster, gauging device

Bibliografická citace:

HEJTMÁNEK, P. *Návrh zařízení pro měření a seřízení podvozku závodního automobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 69 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Porteš, Dr.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Návrh zařízení pro měření a seřízení podvozku závodního automobilu vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Petra Porteše, Dr. s použitím literatury uvedené v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 28.5.2009

.....
Petr Hejtmánek

Poděkování:

Tímto děkuji všem, kteří mně byli nápomocni a vyjádřili podporu při psaní mé diplomové práce. Zvláštní poděkování za velkou ochotu, podporu, cenné rady a věcné připomínky při zpracovávání práce patří vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Portešovi, Dr.

Obsah

Úvod	8
1. Parametry geometrie kol	9
1.1. Základní parametry	9
1.1.1. Odklon kol	9
1.1.2. Příklon rejdové osy	10
1.1.3. Poloměr rejdu	10
1.1.4. Sbíhavost kol	11
1.1.5. Záklon rejdové osy a závlek	11
1.2. Ostatní parametry	12
2. Zařízení k měření geometrie kol	14
2.1. Klasická zařízení k měření geometrie kol	14
2.1.1. Mechanická měřidla	15
2.1.2. Optická měřidla	15
2.1.3. Elektronická měřidla	15
2.2. Zařízení pro měření geometrie kol závodních automobilů	16
2.2.1. Měření odklonu kol	17
2.2.2. Měření sbíhavosti	17
2.2.3. Kombinované měřicí přístroje	20
2.2.4. Příslušenství k měření geometrie závodního vozu	21
3. Požadavky na konstrukční řešení	23
4. Konstrukční řešení	24
4.1. Závěsný systém	24
4.1.1. Rám	25
4.1.2. Měřicí hlavice	28
4.1.3. Závěsné oko s korekcí výšky a měřením zatížení	30
4.1.4. Zařízení pro měření výšky	31
4.1.5. Aretační stojka	32
4.1.6. Projekční plochy	32
4.2. Podpěrný systém	33
5. Příslušenství měřících systémů	37
5.1. Sklonoměry	37
5.2. Laserové projektory	38
5.3. Tenzometry	41
5.4. Navijáky	42
5.5. Váhy s nivelačními podložkami	44
6. Postup přípravy a měření	45
6.1. Postup přípravy závěsného systému	45
6.2. Postup přípravy podpěrného systému	47
6.3. Měření parametrů geometrie	47

7. Analýza napjatostí	49
7.1. Analýza rámu	49
7.2. Analýza měřících hlavic	52
7.3. Analýza závěsného oka	54
7.4. Analýza podpěrné nohy	55
7.5. Analýza osy kolečka	56
7.6. Shrnutí výsledků	57
8. Rozbor chyb měření	58
8.1. Přesun zatížení u vozidla neseřazeného do roviny	58
8.2. Změna odklonu při naklopení	59
8.3. Natočení projekčních ploch	60
8.4. Příčný posun projekčních ploch	62
Závěr	64
Seznam použitých zdrojů	65
Seznam použitých symbolů a zkratek	68

Úvod

Závodní automobily jsou konstruovány a vyvíjeny podle jednoduché filosofie, být na dané trati rychlejší než všichni soupeři. Proto je pozornost věnována pouze faktorům, které dokáží automobil zrychlit oproti konkurenci. Jedním z těchto faktorů je i podvozek, správné nastavení podvozku na daný okruh nebo trať může vytvořit ten rozhodující rozdíl vůči konkurenci, který přinese vítězství v závodě. Nicméně nalezení toho vhodného nastavení pro dané podmínky nemusí být jednoduché. Nejčastěji se zjišťuje testováním různých hodnot jednotlivých parametrů a jejich kombinací. Z toho důvodu musí být závodní týmy vybaveny měřicím zařízením, které zkontroluje, zda jsou parametry geometrie kol nastaveny na požadované hodnoty. Tato zařízení se liší od přístrojů používaných pro měření geometrie sériových automobilů, protože závody a závodní prostředí kladou své specifické podmínky. Hlavním znakem přístrojů pro závodní automobily je rychlost a snadnost použití, tyto vlastnosti bývají často vykoupeny nižší přesností měření. Existuje několik firem zabývajících se výrobou přístrojů pro měření geometrie závodních automobilů, avšak nedá se říct, že by nabídka takovýchto přístrojů byla velká. Závodní týmy si často konstruují svá vlastní zařízení, ale ty postrádají univerzálnost použití a někdy jsou i ukrývány před veřejností, či potenciální konkurencí.

Jak již z názvu vyplývá, cílem diplomové práce je tedy navrhnout zařízení pro měření geometrie kol, které bude alternativou dosud prodávaným přístrojům. Důraz je kladen na přesnost měření a univerzálnost použití. Dalšími podstatnými faktory jsou skladnost zařízení, jednoduchost a rychlost měření. Celkovou měřicí soustavu pak zkompletují optické, elektrické a jiné přístroje různých výrobců. Další části práce jsou zaměřeny na kontrolu napjatostí jednotlivých navržených součástí pomocí metody konečných prvků a na rozbor faktorů ovlivňujících správnost a přesnost měření geometrie kol.

K volbě této práce mě vedlo hned několik skutečností. První z nich je prostředí automobilových závodů, které je mi blízké. Dalším byla vcelku velká tvůrčí volnost, která sice nečiní práci jednodušší, nicméně volnost poskytuje prostor pro originální řešení a nové nápady, což bylo určitou výzvou. V neposlední řadě mě k volbě tématu vedla skutečnost, že jsem na velmi podobné téma již zpracoval bakalářskou práci.

1. Parametry geometrie kol

Geometrie kol je soubor úhlů změřených na různých částech podvozku. Nesprávné nastavení způsobuje zrychlené opotřebení pneumatik, vyšší spotřebu paliva a zhoršené jízdní vlastnosti. Geometrie by tedy měla být kontrolována při každé výměně pneumatik nebo některého dílu podvozku. Může se též kontrolovat při projetí většího výmolu či po nehodě, viz [3]. U závodních automobilů se geometrie kol nastavuje na parametry zajišťující nejlepší jízdní vlastnosti i za cenu zvýšené spotřeby, zrychleného opotřebení kol či zhoršené ovladatelnosti automobilu. K měření a nastavování parametrů geometrie dochází mnohem častěji než u osobních automobilů. Podstata měření jednotlivých parametrů a jejich vliv na chování vozidla je však pro sériové i závodní automobily stejný.

V této kapitole jsou uvedeny základní definice parametrů geometrie kol. Vliv jednotlivých parametrů na jízdní vlastnosti automobilu jsou odvozeny z literatury [1], [2].

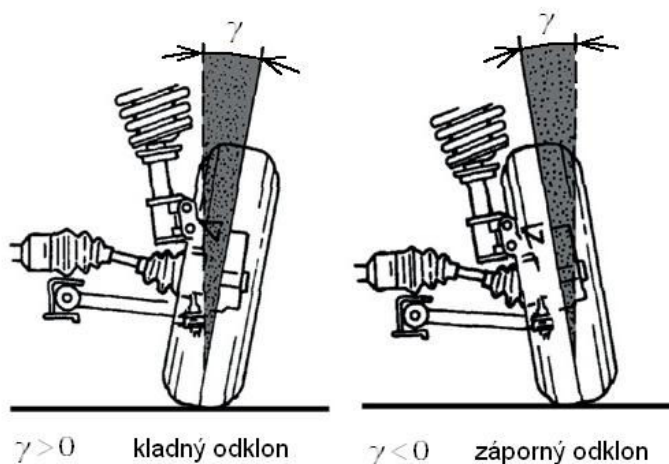
1.1. Základní parametry

Zahrnuje parametry, které mají největší vliv na jízdní vlastnosti a zároveň jsou to parametry, které se na automobilu nejčastěji měří a nastavují.

1.1.1. Odklon kol

Dle [4] je odklon kola γ definován jako sklon střední roviny kola vůči svislé ose vozidla (obr. 1.1). Je uvažován kladně, jestliže se kolo naklání vrchem vně vozidlo a záporně, jestliže se naklání dovnitř.

Nastavení odklonu má největší význam při průjezdu zatáčkou. Pneumatika vyvine maximální boční sílu při malém záporném odklonu, proto je účelné, zajistit hodnotu odklonu vnějšího kola vůči vozovce co nejbližší hodnotě ideální. Jelikož při zatáčení se karoserie působením odstředivé síly naklání na vnější stranu zatáčky, pak se od karoserie vnitřní kola oddalují, a naopak vnější se přibližují, tím dochází u nezávislého zavěšení ke změně jejich odklonu. Z uvedených skutečností vyplývá, že je třeba konstruovat zavěšení tak, aby změna odklonu byla co nejmenší, a nastavit hodnotu odklonu ve statické poloze tak, aby se při pružení blížila hodnotě ideální.

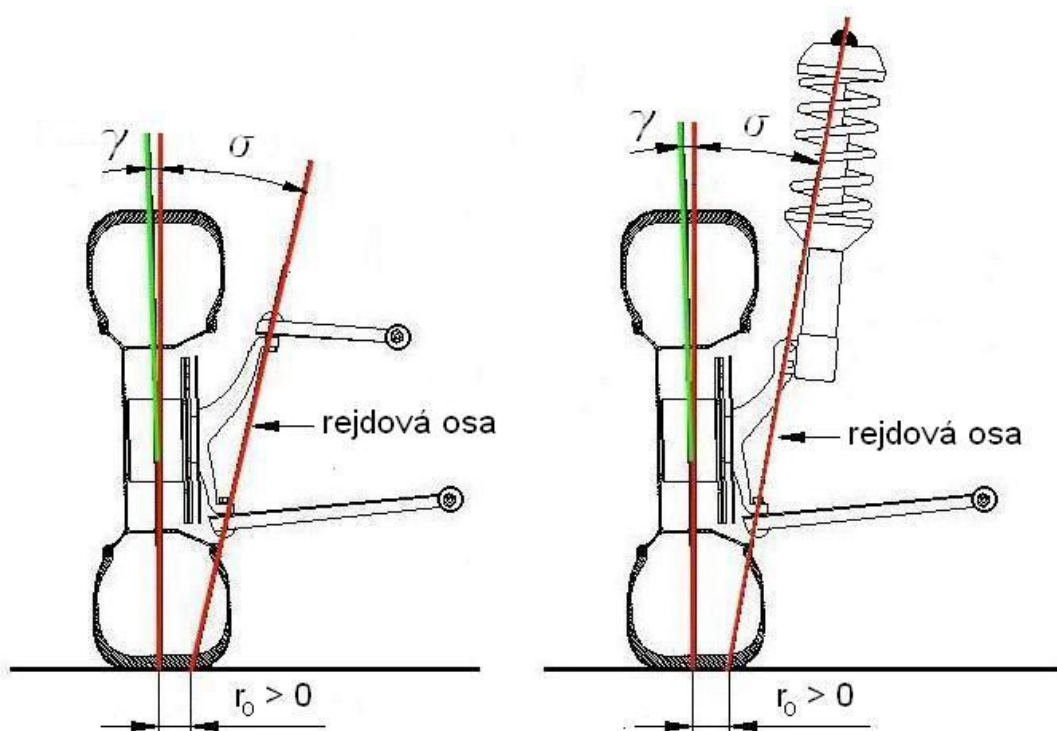


Obr. 1.1 Kladný a záporný úhel odklonu kola [6]

1.1.2. Příklon rejdové osy

Průmět úhlu sevřeného rejdovou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla dává dle [4] příklon rejdové osy σ (**obr. 1.2**). Kladných hodnot nabývá pokud se naklaní vrchem k vozu a záporná v opačném případě.

Rejdová osa spojuje virtuálně horní a dolní čep zavěšení, kolem ní se řízené kolo natáčí. Příklon zajišťuje samočinné vracení kol do přímého směru pomocí sil od zatížení působících na zavěšení, pokud by byl příklon roven nule nebo záporný, vliv příklonu na vracení kol do přímého směru by byl nulový.



Obr. 1.2 Příklon rejdové osy a poloměr rejdu u lichoběžníkové nápravy a nápravy typu McPherson [7]

1.1.3. Poloměr rejdu

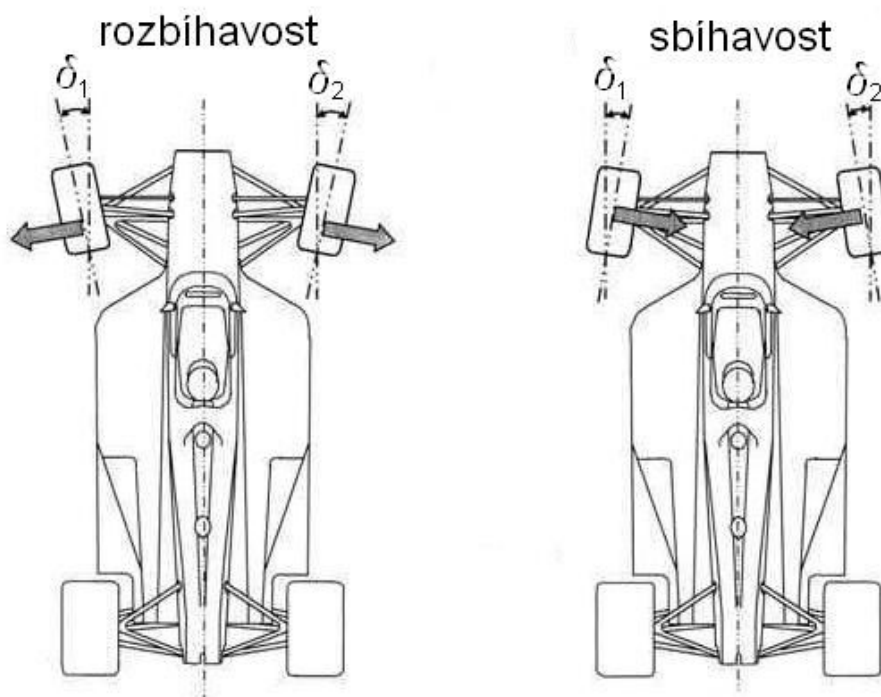
Poloměr rejdu r_o je v rovině vozovky vzdálenost mezi průsečíkem rejdové osy s rovinou vozovky a středem styku pneumatiky, promítnutá do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla (**obr. 1.2**). Leží-li tento průsečík vně střední roviny kola, je poloměr rejdu záporný, viz. [4].

I poloměr rejdu ovlivňuje vratný moment kola, pokud je kladný, tak zvyšuje vracení kola do přímé polohy, pokud je záporný, tak ho zmenšuje. Velikost poloměru rejdu ovlivňuje i změnu sbíhavosti při brzdění, pokud je poloměr rejdu kladný, pak jdou kola do rozbíhavosti, pokud je záporný, pak do sbíhavosti. Proto u větších kladných hodnot poloměru rejdu a rozdílných brzdících silách na levém a pravé kole jsou kola vychylována z původní polohy a řidič musí korigovat směr jízdy. Z toho důvodu je účelné nemít poloměr rejdu příliš velký.

1.1.4. Sbíhavost kol

Úhel sbíhavosti kol δ_o se určuje jako průmět úhlu mezi podélnou osou vozidla se střední rovinou kola do roviny vozovky (**obr. 1.3**), při daném statickém zatížení kola nebo dané vzájemné poloze středu kola a odpružené části vozidla. Kolo je sbíhavé, jestliže přední část kola je přikloněna k podélné ose vozidla a rozbíhavé, je-li odkloněna. [4]. Kromě úhlů se někdy udává sbíhavost jako délková hodnota rozdílu vzdáleností mezi předními a zadními strany disků kol na jedné nápravě, měření se provádí ve výšce středů kol. [5]

Sbíhavost nejvíc působí na opotřebení pneumatik, stabilitu při přímé jízdě a řízení při průjezdu zatáčkou. Nejmenší opotřebení vzniká při nulové sbíhavosti. Při kladné sbíhavosti se odírá vnější stana běhounu, naopak u záporné sbíhavosti se více odírá vnitřní strana (platí pro nulový odklonu kol). S opotřebováváním pneumatik souvisí i zvýšená spotřeba paliva (větší valivý odpor). U předního pohonu směřují hnací síly zepředu dozadu a tedy tlačí kola předními částmi k sobě, proto by byla vhodná rozbíhavost, aby byla při akceleraci kola natáčena do přímého směru. Nicméně aby nedocházelo k zhoršování jízdní stability při přechodových režimech či brzdění je i u sériových automobilů často nastavována vepředu sbíhavost. U závodních automobilů se často nastavuje vepředu rozbíhavost a vzadu sbíhavost pro zvýšení stability při průjezdu zatáčkou.



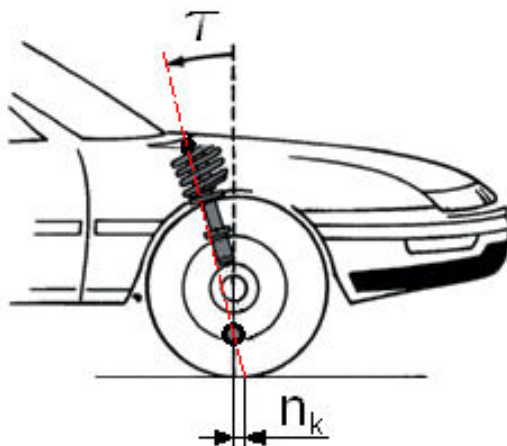
Obr. 1.3 Sbíhavost a rozbíhavost kol [8]

1.1.5. Záklon rejdové osy a závlek

Záklon rejdové osy τ je průmět úhlu sevřeného rejdovou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s podélnou rovinou vozidla (**obr. 1.4**). Je uvažován kladně, je-li rejdová osa skloněna vzad a záporně, je-li skloněna vpřed. Závlek n_k tvoří vzdálenost mezi průsečíkem rejdové osy s rovinou vozovky a středem styku pneumatiky, promítnutá do roviny rovnoběžné

s podélnou rovinou vozidla (**obr. 1.4**). Je uvažován kladně, je-li průsečík před středem styku pneumatiky a záporně, je-li za ním [4].

Nejčastěji je vliv záklonu vysvětlován na kolečku nákupního nebo jiného vozíku, kde se kola natáčejí do směru jízdy. Kolo je vedeno průsečíkem rejdové osy s vozovkou a střed styčné plochy kola se zarovnává ve směru jízdy, pokud nějaká síla (nerovnost) pootočí s kolem pak vratný moment od valivých odporů zarovná kolo opět do směru jízdy. Čím větší je závlek, tím větší je vratný moment. Záporný závlek by měl opačný efekt a jízda by byla velmi nestabilní. Velkou výhodou záklonu rejdové osy je změna odklonu kola při natočení volantu, tedy při natočení volantu vpravo jde levé kolo do většího negativního odklonu. Nevýhodou velkých hodnot záklonu rejdové osy je, že nerovný povrch vozovky způsobuje tvoření proměnné boční síly působící ve středu styku pneumatiky. Tato síla se závlekem vytváří moment působící na rejdovou osu a tím jsou přenášeny vibrace do řízení. Se vzrůstajícím záklonem rejdové osy se zvětšuje citlivost na boční vítr. Větší záklon slouží k zvětšení stability při přímé jízdě, ale také zvyšuje sílu potřebnou na otáčení volantu. U vozidla bez posilovače řízení je při zvětšení příklonu znatelný nárůst ovládací síly volantu.



Obr. 1.4 Kladný záklon rejdové osy a kladný závlek [6]

1.2. Ostatní parametry

Parametry geometrie kol z této kapitoly se nekontrolují tak často jako parametry uvedeny v kapitole 1.1, ale i tyto mají vliv na jízdní vlastnosti a hospodárnost provozu automobilu. Definice převzaty z [7].

Diferenční úhel rejdů (rozdíl rejdů):

Úhlové natočení vnitřního kola vůči vnějšímu kolu při jízdě zatáčkou. Diferenční úhel se různým natočením volantu stále mění, avšak musí mít stejnou hodnotu při stejném natočení vpravo i vlevo. Není-li tomu tak, pak se jedna z pneumatik více či méně smýká. Měření diferenčního úhlu rejdů se provádí při natočení vnitřního kola o 20°.

Diferenční úhel os (rovnoběžnost náprav):

Úhel, který svírá střední podélná rovina automobilu a geometrická jízdní osa. Ta se od osy symetrie liší v tom případě, není-li osa zadní nápravy kolmá na podélnou osu symetrie,

tudíž má zadní náprava šikmé postavení. Toto šikmé postavení pak vlastně určuje primárně směr pohybu vozidla a musí být případně kompenzováno natočením řídících kol.

Maximální úhel natočení kola:

Je úhel daný střední rovinou vnitřního a vnějšího kola při maximálním natočení vlevo a vpravo a střední podélnou rovinou vozidla.

Přesazení kol vpředu a vzadu:

Úhel daný spojovací linií bodů dotyku předních resp. zadních kol s podložkou a přímkou kolmou na geometrickou jízdní osu. Je pozitivní, když pravé kolo je přesazeno vpřed.

Diferenční úhel rozvoru:

Je úhel mezi spojnicemi bodů dotyku předních kol s podložkou a bodů dotyku zadních kol. Nabývá kladných hodnot, když rozvor pravé strany je větší než rozvor levé strany.

Diferenční úhel rozchodu:

Je úhel daný spojnicí bodů dotyku levých kol a spojnicí bodů dotyku pravých kol. Je pozitivní, když rozchod zadních kol je větší než předních.

Stranové přesazení nápravy vpravo a vlevo:

Je úhel daný spojnicí bodů dotyku pravých resp. levých kol a geometrickou jízdní osou. Je pozitivní, když pravé resp. levé zadní kolo více vyčnívá vně vozu.

Přesazení náprav:

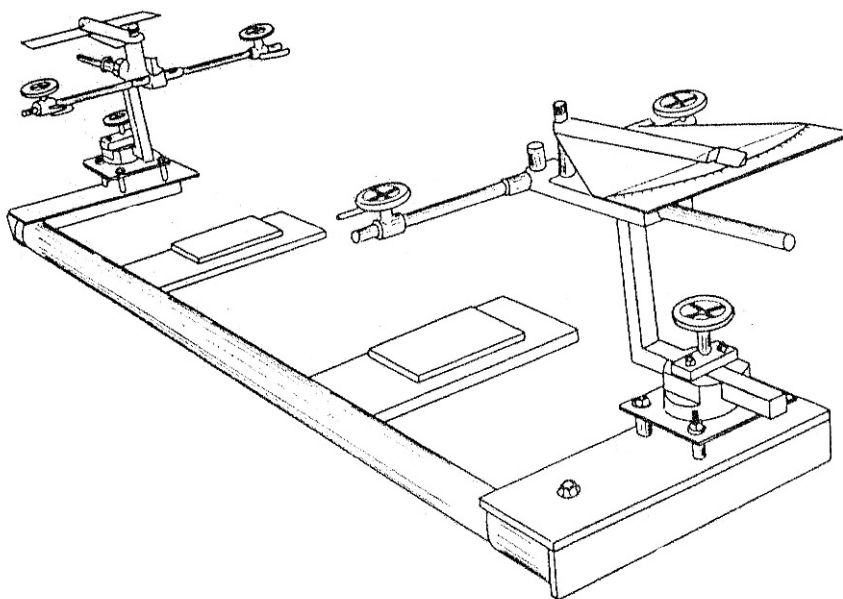
Je úhel daný přímkou půlící diferenční úhel rozchodu a geometrickou jízdní osu. Je pozitivní, když zadní náprava je přesazena vpravo.

2. Zařízení k měření geometrie kol

Přístroje pro měření geometrie jsou rozděleny na klasická zařízení, a zařízení specializovaná na závodní automobily. Rozdíly mezi klasickými přístroji a přístroji používanými pro závodní automobily vznikají z rozdílným požadavků, které jsou na ně kladeny. U měřících zařízení používaných u závodních vozů je mírně potlačen požadavek na přesnost měření, zato je velice podstatná snadnost a hlavně rychlost měření. Kromě rychlosti měření je značným nedostatkem měřících zařízení užívaných pro osobní automobily velká rozměrnost a hmotnost, čímž je prakticky vyloučeno časté přepravování těchto zařízení mezi závody. V neposlední řadě limituje použití klasických přístrojů prostředí servisních zón či boxů, které svými podmínkami a vybavením nemusí dostačovat k jejich správné funkci. Klasická zařízení se využívají i pro měření závodních automobilů např. mezi závody pro kontrolu opraveného vozu po havárii. Kompaktnější zařízení se užívají přímo při závodech, nebo při bezprostřední přípravě v místě závodu.

2.1. Klasická zařízení k měření geometrie kol

Jak již bylo zmíněno, pro správný provoz osobního automobilu je třeba, aby parametry geometrie kol odpovídaly předepsaným hodnotám, ke kontrole těchto hodnot slouží zařízení pro měření geometrie kol. Podle principu, který k měření využívají, se přístroje dělí na mechanické, optické a elektronické. U všech typů měřících přístrojů musí být dodrženy následující základní podmínky měření. Pneumatiky musí být dohuštěny na předepsaný tlak, na nápravě musí být použity pneumatiky stejných rozměrů, je třeba provést kontrolu stavu řídicího ústrojí, stav uložení kol a stav tlumičů. Říditelná kola musí být umístěna na otočných plošinách a všechna kola pak na kluzných podložkách umožňujících posun do stran. Tyto plošiny a podložky eliminují tření a napružení pneumatik a dílů zavěšení vedoucí k nepřesnostem. Důležitou podmínkou pro měření je vodorovná podlaha, jakékoliv nerovnosti také vedou k nepřesnostem. Klasifikace a charakterizace zařízení převzata z [9] a [10].



Obr. 2.1 Zařízení KOCH NC-27 pro mechanické měření geometrie kol [9]

2.1.1. Mechanická měřidla

Přímé měření délek a úhlů na kolech. Zařízení tvoří různé úhlooměry, posuvná měřidla, libely ad. Mechanická měřidla jsou nejstarší a nejméně přesná zařízení, nelze u nich vykompenzovat házivost ráfku. Lze jimi měřit sbíhavost, odklon kol a změna odklonu kol při jejich natočení, ze změny odklonu pak lze vypočítat záklon rejdové osy. Příkladem mechanického zařízení pro měření geometrie kol je KOCH NC-27 (**obr. 2.1**), kde se při kládáním úhlooměru na disky měří jednotlivé parametry.

2.1.2. Optická měřidla

Optická zařízení pro měření geometrie kol jsou založena na nepřímém měření polohy kola, lze je rozdělit na měřidla s přímou a nepřímou projekcí. U obou typů optických měřidel lze kompenzovat házivost ráfku.

U přímé projekce je zdroj světla umístěn na kole pomocí speciálního držáku. Projekční plochy, kde světlo dopadá, jsou připevněny k vozu, nebo jsou umístěny mimo vozidlo. Tyto projekční plochy jsou vybaveny vyznačenými stupnicemi pro jednotlivé parametry (**obr. 2.2**). Měří se jimi celková i dělená sbíhavost, odklon kol, zákon i příklon rejdové osy.

U nepřímé projekce jsou na kolech připevněna zrcadla, paprsek světla vyslaný zdrojem se na nich odrazí a promítne se na projekční plochu se stupnicí. Tento způsob měření vyžaduje precizní umístění zrcadel i projektorů.



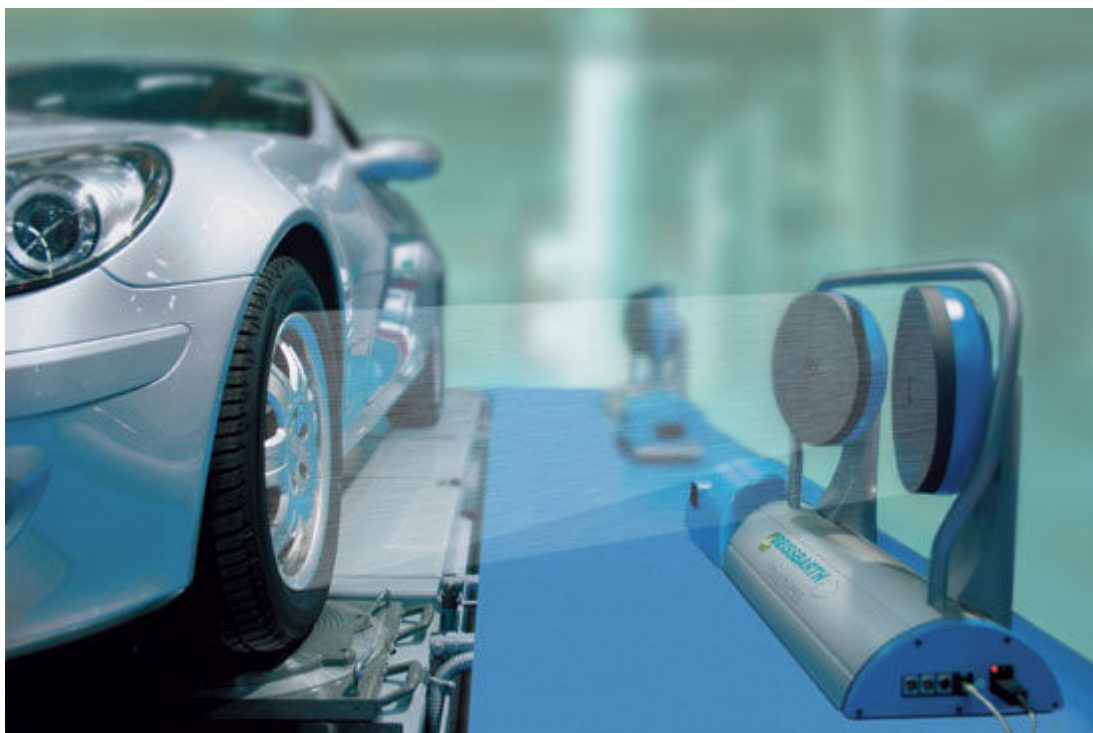
Obr. 2.2 Optické měřidlo KOCH HD-10 [11]

2.1.3. Elektronická měřidla

Stejně jako optická měřidla využívají i elektronická zařízení nepřímého měření polohy kol. Ke kolům jsou připevněny snímací hlavy, jejichž součástí jsou nejčastěji optoelektronické snímače. Oproti optickým přístrojům je světelný paprsek nahrazen infračerveným paprskem a projekční plocha CCD kamerou. Nejčastěji obsahuje každá hlava 2 senzory a 2 projektory, tudíž se poloha kola měří vůči kolu na stejné nápravě a zároveň vůči

kolu na stejné straně vozidla. Samotné měření sice probíhá opticky, ale výpočet a vyhodnocení parametrů provádí počítač, proto je měření velice přesné. Celé zařízení pracuje automaticky, na obsluhu přístroje zbývá kromě instalace měřících hlav pouze natáčení volantu podle instrukcí.

Mezi nejnovější způsoby tzv. bezkontaktního měření geometrie kol patří systémy kamerou snímající terče připevněné na kolech a z pořízených snímků provádí vyhodnocení polohy terčů a tedy i kol v prostoru. Další možností je přímé snímání disku kola dvěma kamerami. Na kolo jsou promítány obrazce, popřípadě se navíc snímají speciální značky umístěné na kolech a karoserii, ze snímků pořízených oběma kamerami vytvoří počítač 3D obraz a vypočítá hodnoty parametrů geometrie kol (**obr. 2.3**).



Obr. 2.3 Beissbarth Touchless - zařízení se 2 CCD kamerami obklopenými infračervenými LED diodami, slouží pro bezdotykové měření geometrie kol.

2.2. Zařízení pro měření geometrie kol závodních automobilů

Měření probíhá nejčastěji přímo na kolech, jenž leží na zemi, v lepším případě na kluzných deskách, ale u obou způsobů vznikají deformace a napružení širokých závodních pneumatik vedoucí k nepřesnostem. Deformace pneumatiky lze odstranit použitím úzkých disků či jiných nekruhových elementů namísto kol. Použití těchto náhrad ovšem přináší jiné problémy, např. s manipulovatelností automobilu. U karosovaných závodních automobilů je nutné pro změnu geometrie vozidlo nejprve zvednout, parametry nastavit, vozidlo spustit a poté jej změřit. Pro další změnu parametrů se musí celá procedura opakovat, což je časově velmi nevýhodné. Z toho důvodu jsou často vozy umísťovány na různé podstavce řešící problém s přístupností k dílům podvozku, které slouží pro nastavení parametrů geometrie.

Měřicí přístroje jsou rozděleny podle parametru, k jehož měření slouží. Přístroje pro měření odklonu kol slouží zároveň i pro zjišťování záklonu rejdové osy.



Obr. 2.4 Digitální úhloměr pro měření odklonu kol [12]

2.2.1. Měření odklonu kol

Pro měření odklonu kol u závodních automobilů se používá metoda přímého měření pomocí úhloměru. Nejčastěji se používají bublinkové vodováhy a elektronické sklonoměry. Tyto sklonoměry se připevňují do středu disku pomocí magnetu, přesnější variantou je úhloměr přichycen k držáku vybaveného hroty, držák se pak hroty přikládá k okrajům disku (**obr. 2.4**). Měření je rychlé a při dodržení správného postupu měření i přesné.

2.2.2. Měření sbíhavosti

Přístroje pro měření sbíhavosti se vyskytují v několika variantách. Jednou z metodou je měření pomocí provázků natažených rovnoběžně s podélnou rovinou vozu, provázky musí být vedeny ve výšce středů kol. Změří se kolmá vzdálenost předního a zadního okraje ráfku od provázku (**obr. 2.5**), ze změřených hodnot a ze znalosti průměru disku se vypočte dělená sbíhavost. Držáky provázků mohou být umístěny mimo vozidlo, nebo jsou přímo k vozidlu přichyceny (**obr. 2.6**). Základem pro zajištění přesnosti je minimální odchylka rovnoběžnosti provázků vůči podélné rovině vozu, velký vliv na přesnost měření má i házivost disku.



Obr 2.5 Měření sbíhavosti provázkovou metodou [12]



Obr. 2.6 Držák provázků [13]

Další metodou pro zjišťování sbíhavosti je odměřování vzdáleností předních a zadních okrajů ráfků kol na jedné nápravě. Měření probíhá měřicí tyčí, která má na každém konci rameno dotýkající se příslušného okraje ráfku (**obr. 2.7**). Určuje se úhel sevřený koly za pomoci znalosti obou změřených vzdáleností mezi koly a průměru disku. Druhou možností je přiložení rovinných desek k diskům kol, pak se odměřuje vzdálenost mezi předními a zadními konci těchto desek, např. svinovacím metrem. Výpočet úhlu sbíhavosti probíhá stejným způsobem jako u měření tyčí. Jelikož vlivem tření mezi podložkou a kolem vzniká boční napružení pneumatiky bránící kolu ustálit se do rovnovážné polohy, čímž vznikají nepřesnosti měření, lze pro eliminaci těchto nepřesností kola nahradit tenkými disky nebo jinými nekruhovými elementy (**obr. 2.8**), způsob měření se však nemění. Přesnost těchto metod je závislá zejména na tuhosti měřicí tyče nebo přesnosti délkového měřidla, důležité je i dodržení měření ve stejných výškách.



Obr 2.7 Tyč pro měření sbíhavosti [14]



Obr 2.8 Osmiúhelníkové náhrady kol [15]

Nejpřesnější metodou zjišťování sbíhavosti je měření optickými přístroji. K oběma kolům na nápravě se přiloží měřící zařízení, to se disků dotýká jen tenkými hroty v několika místech na okrajích ráfku. Jedno zařízení je vybaveno zrcadlem a druhé projektořem světelného paprsku s projekční plochou opatřenou ryskami (**obr. 2.9**). Vyslaný světelný paprsek se odrazí od zrcadla a dopadá na projekční plochu. Ze znalosti vzdálenosti mezi projektořem a dopadnutým obrazem a vzdálenosti zrcadla od projektoru se vypočítá celková sbíhavost. Existují i varianty přístrojů, kde na jednom zařízení je projektor a na druhém projekční plocha, ale jejich přesnost je z důvodu poloviční dráhy paprsků nižší.



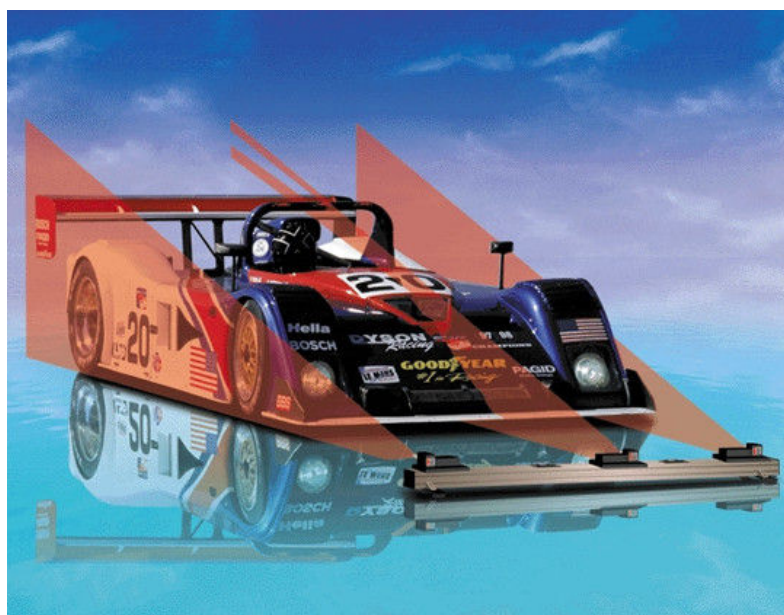
Obr. 2.9 Přístroj Dunlop AGO40 pro optické měření sbíhavosti [16]

2.2.3. Kombinované měřicí přístroje

Tyto přístroje využívají některých výše uvedených metod pro měření jak sbíhavosti, tak odklonu kol. Nejčastěji jsou tato zařízení kombinací úhloměru s možností provázkového či optického měření sbíhavosti (**obr. 2.10**). Další možností současného měření sbíhavosti i odklonu je laserový projektor vytvářející světelné „plochy“ po obou stranách vozu. Tyto paprsky jsou rovnoběžné s podélnou rovinou vozidla a slouží pro měření sbíhavosti i odklonu na principu provázkové metody. Třetí paprsek pak zajišťuje vystředění a zarovnání přístroje (**obr. 2.11**).



Obr. 2.10 Zařízení pro měření sbíhavosti i odklonu [17]



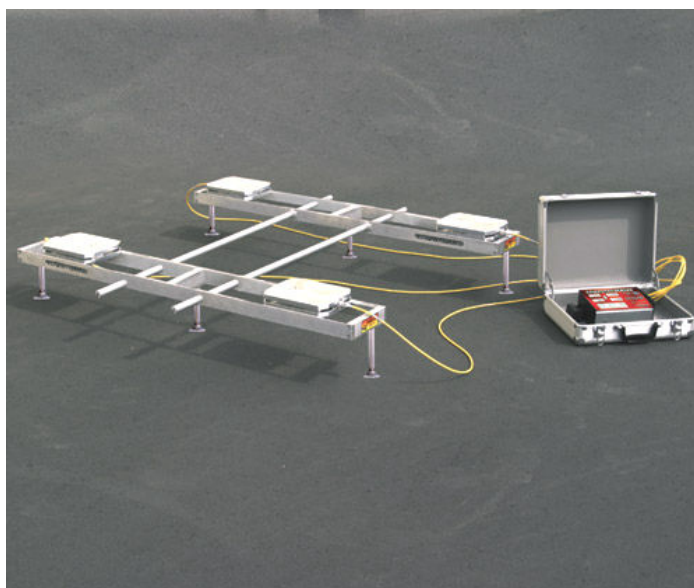
Obr. 2.11 Měření sbíhavosti a odklonu pomocí laserového projektoru [12]

2.2.4. Příslušenství k měření geometrie závodního vozu

Důležitým vybavením pro měření geometrie u závodních automobilů jsou váhy a výškově nastavitelné plošiny. Váhy měří zatížení jednotlivých kol, pomocí plošin se nastavuje vodorovná měřicí plocha. Přesnost nastavení vodorovné měřicí plochy výrazným způsobem ovlivňuje přesnost měření parametrů geometrie kol. Nejčastější provedení elektronických vah jsou 4 samostatné, ploché desky, které jsou spojeny kabely nebo bezdrátovou komunikací se zobrazovací zařízení, popřípadě je displej zobrazující změřenou hodnotu umístěn samostatně na každé váze. Méně užívanou možností je váha, která se našroubuje na náboj místo kola. Váhy jsou položeny na plošinách, někdy jsou i jejich pevnou součástí. Výškově nastavitelné plošiny jsou buď pro každé kolo samostatné (**obr. 2.12**), nebo jsou všechny čtyři spojeny pevnou konstrukcí (**obr. 2.13**). Nevýhodou pevných konstrukcí je špatná skladnost a velká hmotnost. V obou případech se do roviny nastavují pomocí šroubovacích noh.



Obr 2.12 Výškově nastavitelné plošiny s váhami [17]



Obr. 2.13 Konstrukce s váhami [18]

Vzájemné zarovnání jednotlivých plošin do roviny se uskutečňuje několika způsoby. Prvním z nich je užití laserového projektoru, který vysílá vodorovné paprsky dopadající na terčíky se stupnicemi, jež jsou umístěné na plošinách (**obr. 2.14**). Další metody jsou už méně přesné a hlavně časově náročnější, např. měření vzájemné polohy dvou plošin vodováhou nebo sloupcem vody. Váhy položené na společné, pevné podložce se zarovnávají jednoduše pomocí libel umístěných přímo na konstrukci.



Obr. 2.14 Laserový projektor osvětlující terčíky umístěné na plošinách s váhami [18]

Dalším měřená hodnota, která sice není parametrem geometrie kol, ale která je často stanovena závodními předpisy, je světlost vozu. Pro měření světlé výšky se používají rozličná délková měřidla, sofistikovanější zařízení mívají digitální displej, další možností je měření pomocí laserového paprsku.

3. Požadavky na konstrukční řešení

Navržené konstrukce vznikaly na základě stanovených požadavků. V podstatě bylo záměrem využít přednosti současných řešení a potlačit jejich nevýhody. Základním požadavkem bylo měření geometrie bez pneumatik, tím se eliminují nepřesnosti vzniklé deformací pneumatiky. Tento požadavek společně s požadavkem měření geometrie na zatížených nápravách přibližuje změřené hodnoty parametrů geometrie reálným hodnotám, jenž jsou na stojícím vozidle. Dále bylo snahou zvýšit přesnost měřením použitím optických a elektrických přístrojů. Zařízení by mělo umožňovat natáčení, klonění i zdvih nápravy bez vnějších tření. Konstrukce by měla být snadno rozložitelná a skladná, jelikož se tato zařízení převážně od závodu k závodu, tudíž by jistě nebylo přínosné, aby měřicí systém způsoboval navíc logistické potíže.

Jelikož v prostředí automobilových závodů hraje čas významnou roli nejen při samotném závodě, ale i v době bezprostřední přípravy na závod, je požadováno, aby měřicí zařízení bylo snadno a rychle složitelné a uvedené do provozu. Do provozu znamená uvedení vozu a všech součástí měřicího systému do takové polohy a stavu, aby mohlo začít samotné měření geometrie. Pro urychlení měření je účelné zajistit, aby bylo možno současně nastavovat a zároveň měřit daný parametr. V opačném případě je nutné neustále přeměřovat a korigovat jednotlivé parametry, což v některých případech zabírá hodně času.

Univerzálnost použití je podmínka, který v kombinaci s požadavkem na měření bez pneumatik přináší řadu problémů. Tvar, rozměry nebo například počet matic disku se liší vozidlo od vozidla. Ale nejde jen o rozměry připojovacích rozměrů, specifické podmínky přináší i jednotlivé typy závodních automobilů. Zatímco u nekarosovaných vozidel jsou součásti zavěšení, jimiž se jednotlivé parametry nastavují, snadno dostupné, u karosovaných automobilů se musí celé vozidlo zvednout, sundat pneumatiky a teprve potom lze snadněji podvozek nastavovat.

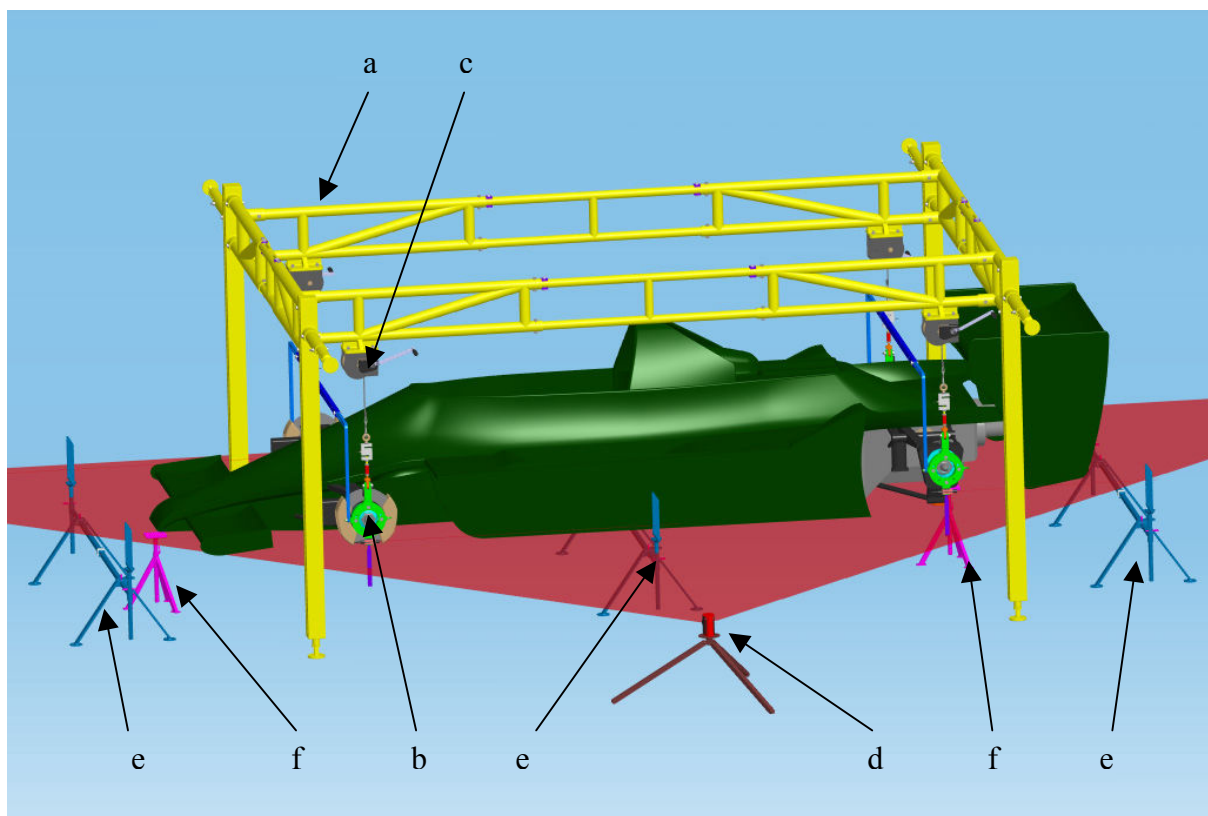
Jedním z nejdůležitějších požadavků je, aby daný měřicí systém dokázal rychle a co nejpřesněji změřit hodnoty sbíhavosti, odklonu kol, záklonu rejdové osy, světlé výšky a také rozložení zatížení vozidla, protože jedině věrohodné výsledky měření dělají z návrhu užitečné měřicí zařízení.

4. Konstrukční řešení

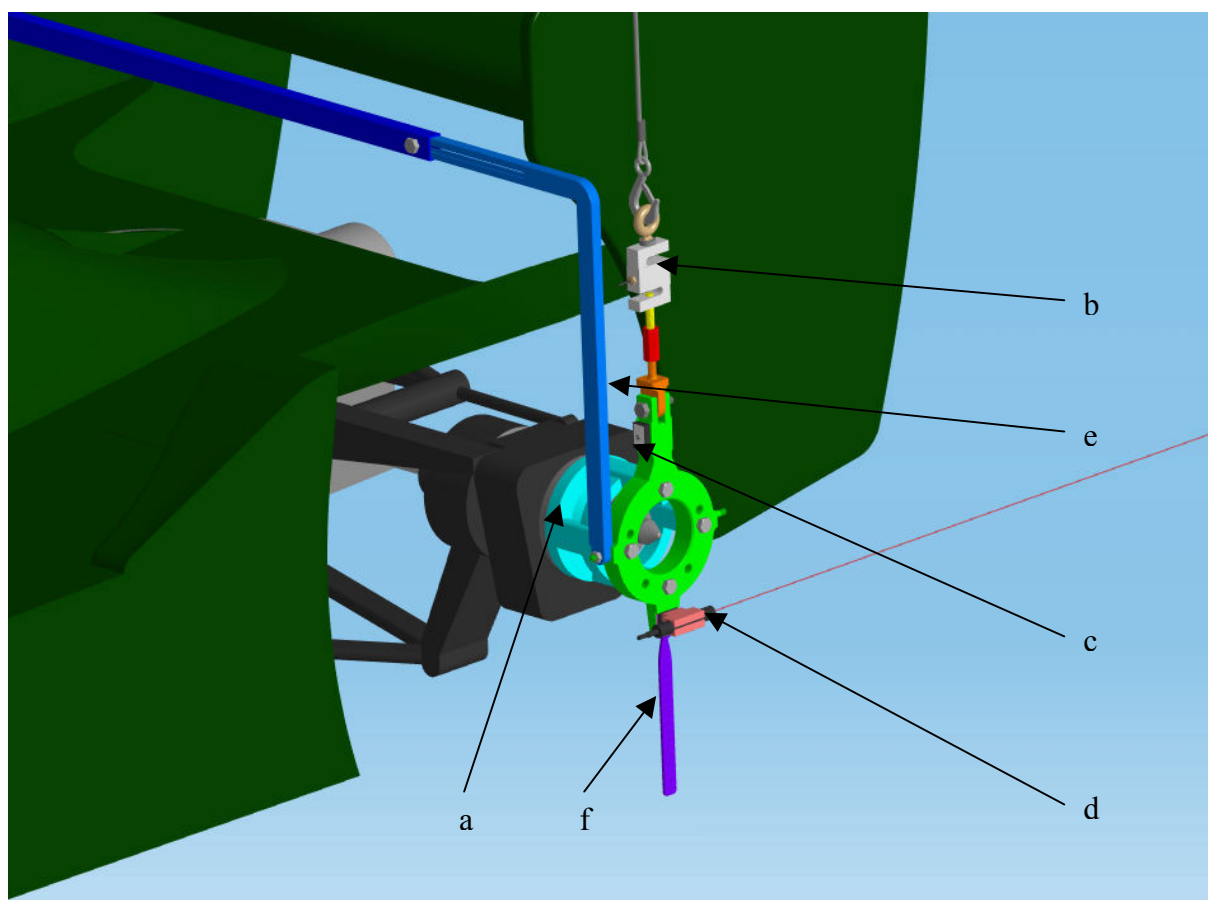
Při navrhování zařízení pro měření geometrie byly zvoleny dvě rozdílné základní koncepce, pro každou z nich byl navržen samostatný měřicí systém. První z nich je závěsný systém, kdy je vozidlo zavěšeno na nosný rám, tíha je koncentrována do čtyř svislých tažných sil. Druhý návrh vychází z konceptu měřicího zařízení uvedeného v bakalářské práci autora této diplomové práce [19]. Tento systém s podporami nahrazuje kolo podpěrnými nohami eliminující deformace pneumatik a umožňující snadný přístup k dílům podvozku při měření geometrie i u karosovaných automobilů.

4.1. Závěsný systém

Základní prvky tvořící závěsný systém jsou nosný rám (**obr. 4.1a**) a měřicí hlavice (**obr. 4.1b**). Hlavice se přes adaptéry (**obr. 4.2a**) přišroubují k nápravám a zavěsí se na navijáky (**obr. 4.1c**) připevněné k nosnému rámu. Vůz se zvedne do potřebné výšky a zarovná se do měřicí roviny pomocí liniového laseru (**obr. 4.1d**). Měřicími přístroji uchycenými k hlavici se pak zjišťují hodnoty jednotlivých parametrů geometrie kol. Tahové tenzometrické snímače (**obr. 4.2b**) měří rozložení zatížení vozidla, sklonoměry (**obr. 4.2c**) odklon kola, paprsky z bodových, laserových projektorů (**obr. 4.2d**) dopadají na projekční plochy (**obr. 4.1e**), kde se odměřuje sbíhavost. Zařízení pro měření výšky (**obr. 4.2e**) určuje výškovou polohu kola vůči karoserii, z čehož se určuje světlá výška automobilu. Pomocí našroubovaného terčíku (**obr. 4.2f**) se zjišťuje výšková poloha hlavice. Poslední prvek soustavy tvoří aretační stojky (**obr. 4.1f**) bránící houpání a kývání vozidla. Celková nosnost rámu je 1000 kg s tím, že rozložení hmotnosti na nápravách může dosáhnout poměru až 30:70.



Obr. 4.1 Součásti závěsného systému - celkový pohled



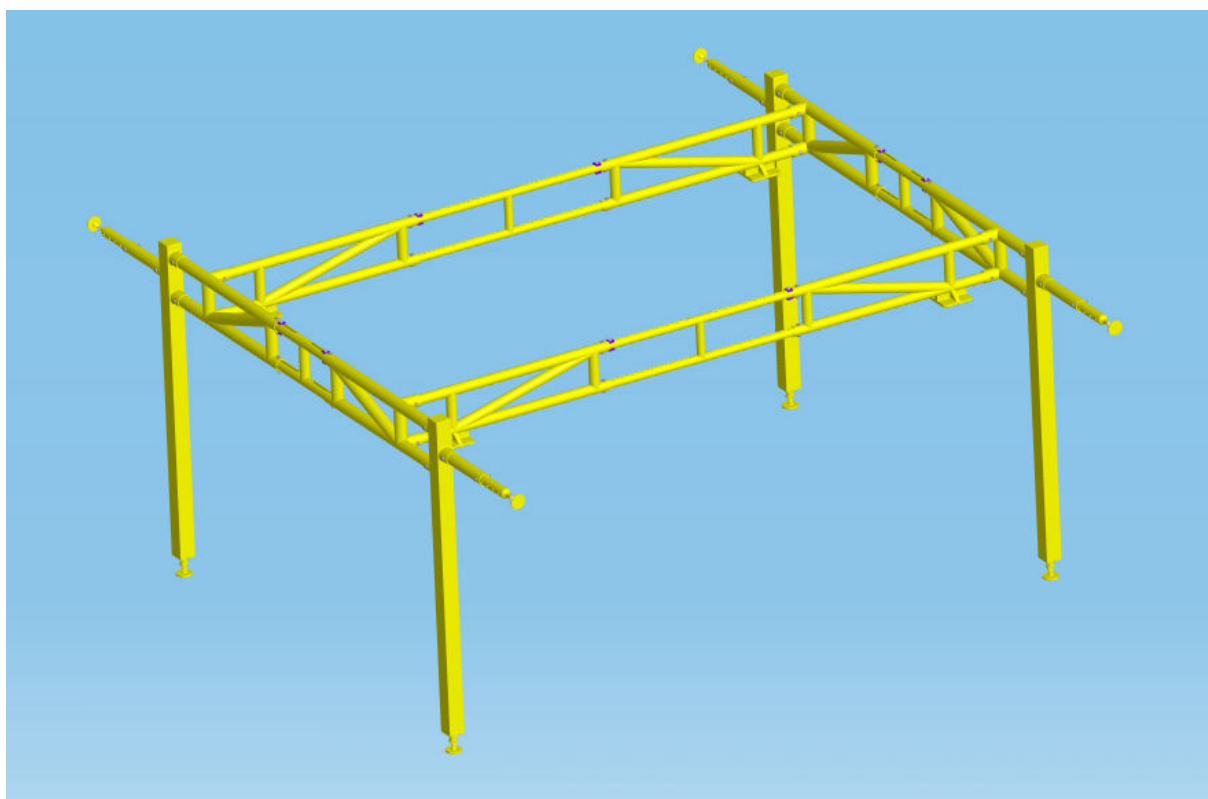
Obr. 4.2 Součásti závěsného systému - detailní pohled

4.1.1. Rám

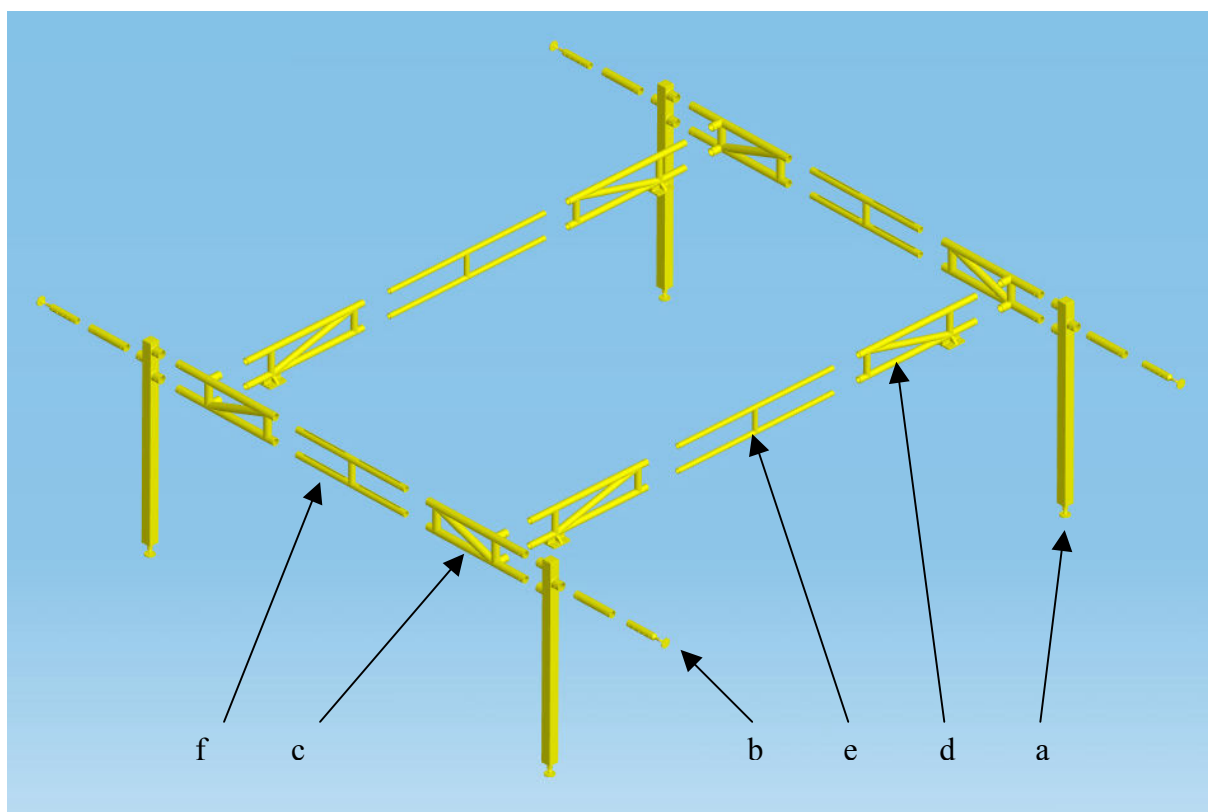
Nosný rám (**obr. 4.3**) nese přes hlavice, lana a navijáky celou hmotnost měřeného vozidla. Je délkově, šířkově i výškově nastavitelný, délka a šířka se nastavuje pro různé hodnoty rozchodů a rozvorů. Rám je navržen pro měření vozidel s rozvorem náprav od 1800 mm do 3000 mm a rozchodem kol od 1400 mm od 2200 mm. K nastavování délky a šířky rámu dochází zasouváním či vysouváním příčných a podélných posuvných dílů v nosnících, pro zajištění polohy posuvných dílů slouží šroubové spoje. Výškové nastavení pomocí šroubovacích noh slouží pro zarovnání rámu do stabilní polohy na nerovné podložce.

Rám tvoří následující součásti: nohy (**obr. 4.4a**), teleskopické tyče pro zapření o zeď boxů (**obr. 4.4b**), příčné nosníky (**obr. 4.4c**) - dva s přírubami vlevo, dva s přírubami vpravo. Dále to jsou podélné nosníky (**obr. 4.4d**), jenž nesou navijáky, dva podélné posuvné díly (**obr. 4.4e**) a dva příčné posuvné díly (**obr. 4.4f**). Jednotlivé součásti jsou spojeny šroubovými spoji M10. Navrženým materiálem pro všechny součásti rámu je AlMgSi0,5, chemicky stálý, vytvrditelný, obrobitelný, velmi dobře svařitelný materiál se střední pevností. Mez pevnosti R_m ve vytvrzené stavu je 250 MPa, mez kluzu ve vytvrzeném stavu $R_{p0,2} = 195$ MPa. Užitím hliníkové slitiny vzniká značná úspora hmotnosti. Výběr polotovarů vzešel ze katalogové nabídky firmy Feropol [20].

Základ nohy rámu tvoří jelek s navařenými trubkovými přírubami, na dolním konci je závit pro šroubovací nožku (**obr. 4.5**). Ostatní součásti jsou svařeny s trubek různých průměrů. Na podélném nosníku je přivařen držák navijáku (**obr. 4.6**). Posuvné díly mají vyfrézované drážky pro zajištění polohy šroubovými spoji.



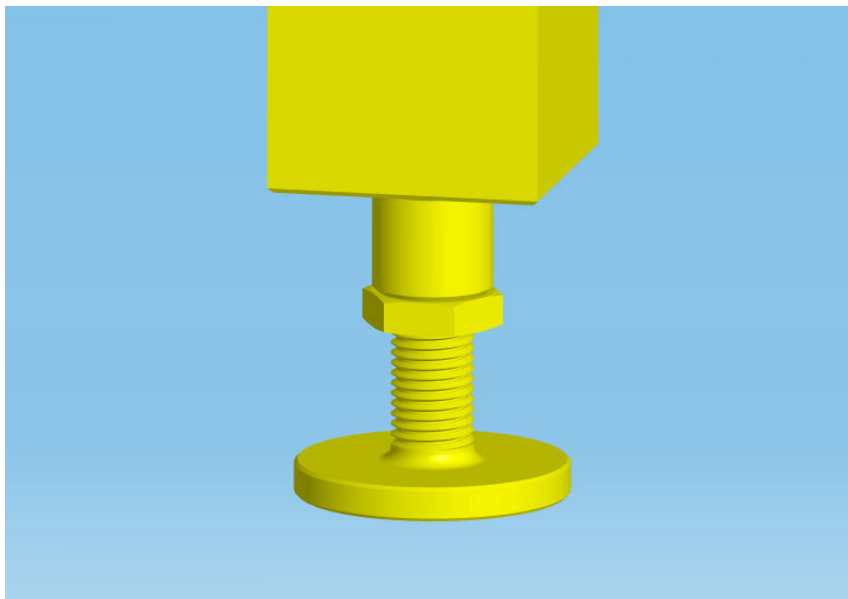
Obr. 4.3 Celkový pohled na složený nosný rám



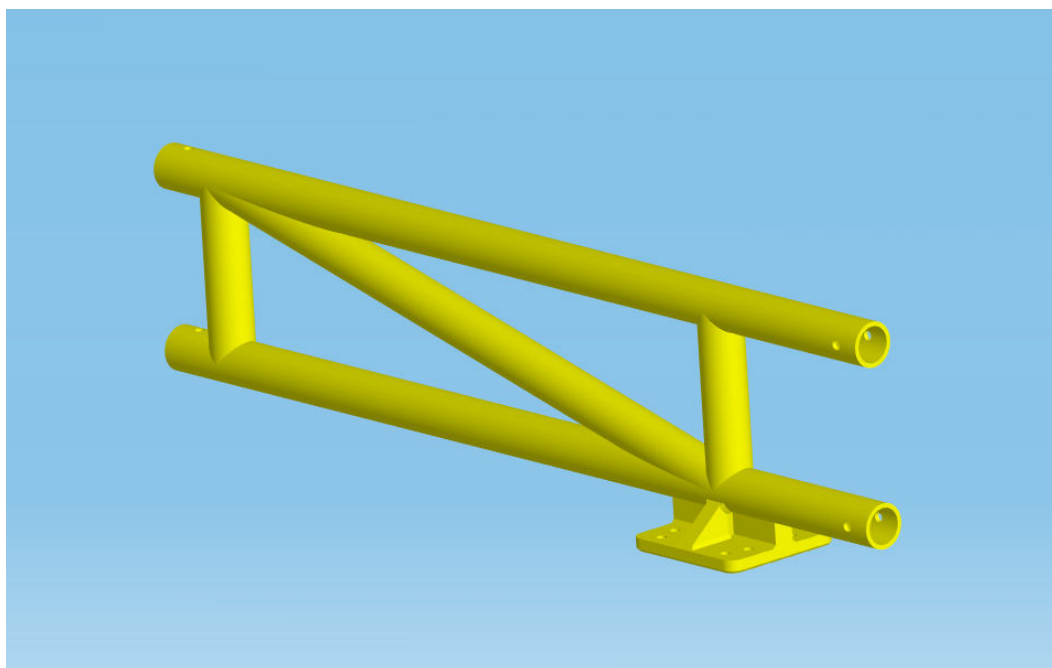
Obr. 4.4 Rozložený nosný rám

Tyče pro zapření (**obr. 4.7**), jenž jsou přišroubovány k noze, lze užít jen při měření v závodních boxech, zajišťují větší stabilitu rámu. Tvoří je dvě trubky, které lze v sobě zasouvat, a tím měnit délku tyče, vzájemná poloha obou trubek se zajišťuje šroubem. Na konci vnitřní trubky je šroubovací doraz pro doladění správné délky tyče pro zapření.

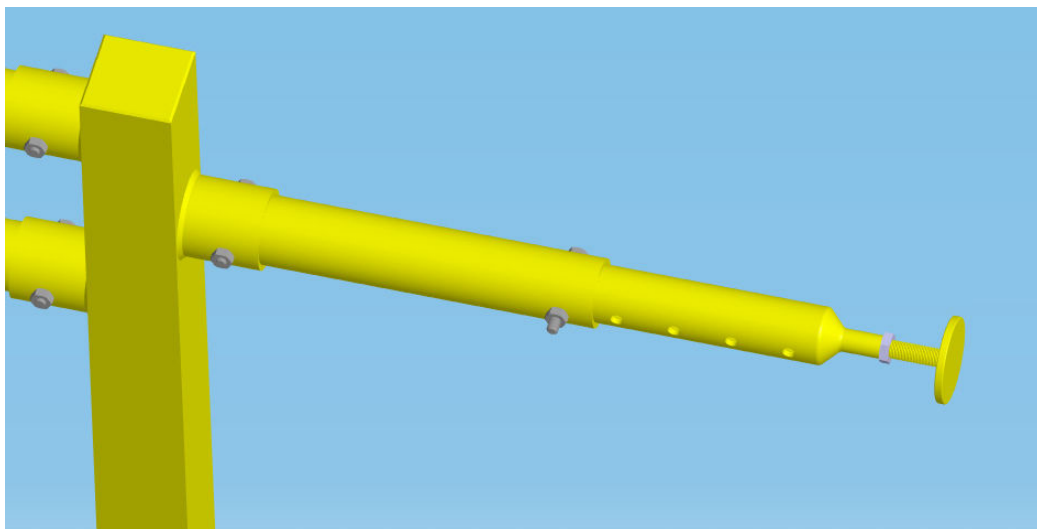
Nastavení délky a šířky rámu lze usnadnit užitím trubkových dorazů (**obr. 4.8**). Pokud je již rám nastaven na daný automobil, lze našroubovat na posuvné díly tyto dorazy. Při další montáži rámu pro měření geometrie stejného automobilu odpadá nutné přeměřování rozměrů, čímž se zrychluje příprava.



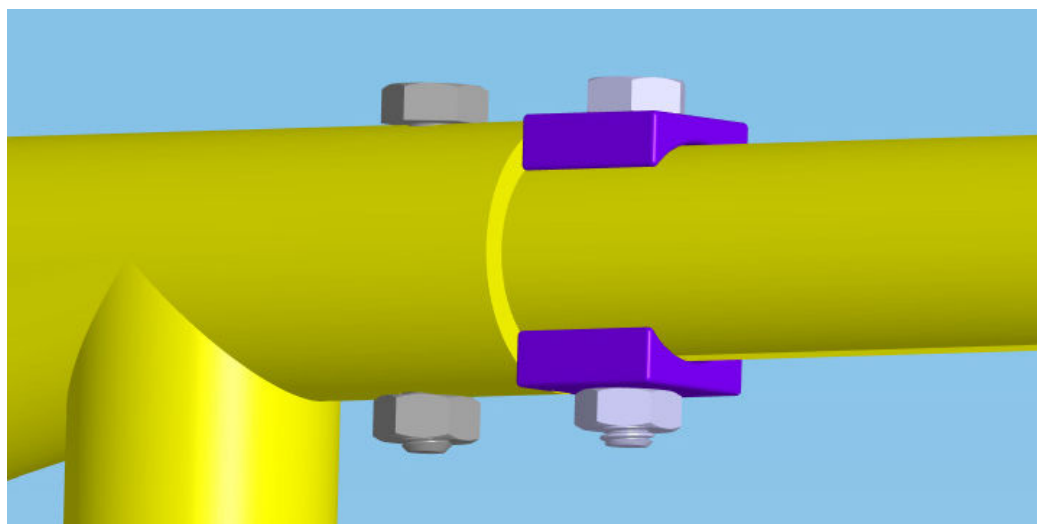
Obr. 4.5 Šroubovací nožka rámu



Obr. 4.6 Podélný nosník s přírubou pro naviják



Obr. 4.7 Teleskopická tyč pro zapření rámu

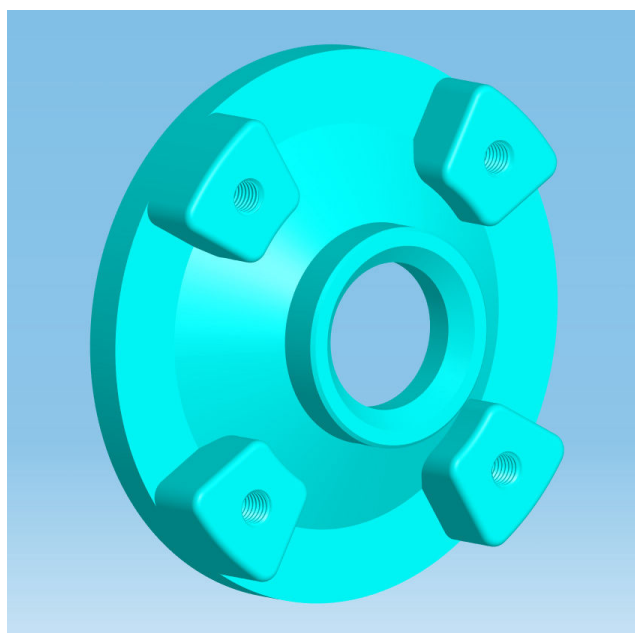


Obr. 4.8 Dorazy posuvných částí

4.1.2. Měřicí hlavice

Hlavice splňuje dvě funkce, přenos zatížení z náprav přes lana do rámu a uchycení měřícího příslušenství. Hlavice je k náboji pevně připevněna přes adaptér (**obr. 4.9**). Jelikož se u jednotlivých vozidel liší rozměry nábojů kol, tvary dosedacích součástí pro disky nebo i počet matic kola, zajišťuje adaptér univerzálnost použití. Pro jednotlivé závodní vozidla se navrhne vhodný adaptér z hliníkové slitiny s patřičnými rozměry a konstrukcí. Zároveň adapter slouží i pro zarovnání hlavice do stejné svislé roviny, platí pro vozidla s různým rozchodem kol vpředu a vzadu. Společný pro všechny adaptéry bude průměr roztečné kružnice závitových děr, ty mohou být čtyři nebo pět.

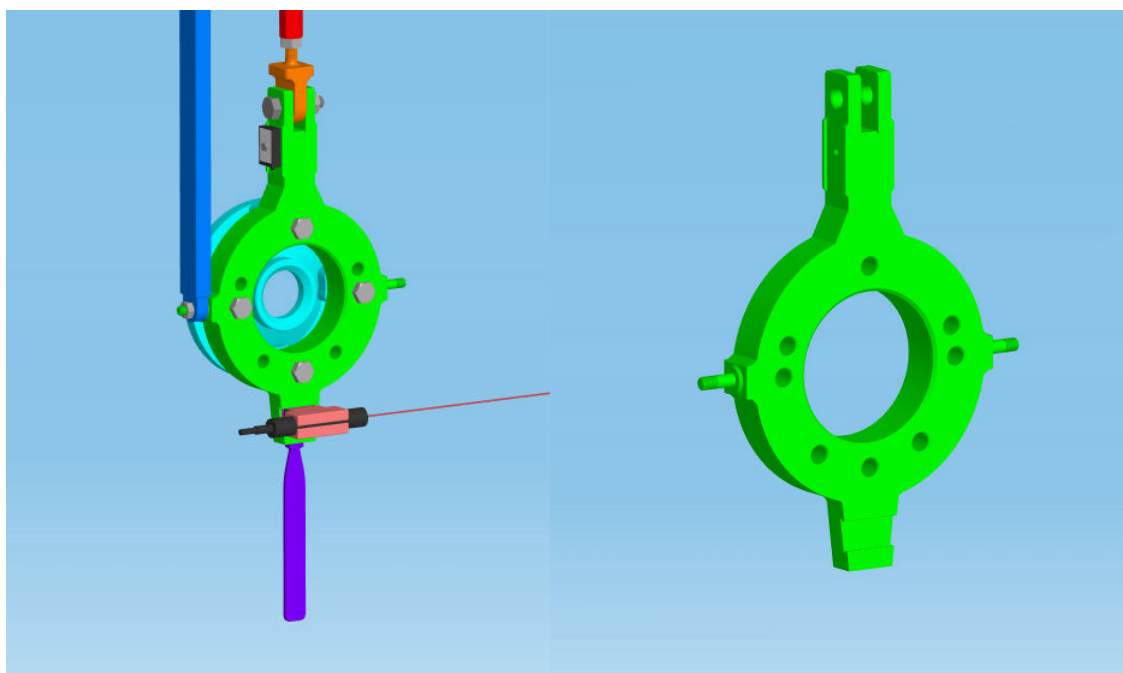
Materiál pro měřicí hlavici je stejný jako u rámu - AlMgSi0,5. Tvar a rozměry hlavice jsou dány zvoleným příslušenstvím (viz. kap.5), při výběru příslušenství byly vytvořeny dvě skupiny. První skupinu tvoří precizní zařízení pro dosažení maximální přesnosti, druhou kvalitní a snadněji ovladatelné přístroje. Jelikož se přístroje z pro měření daného parametru z obou skupin někdy liší ve způsobu měření, ale hlavně v rozměrech, byly vytvořeny dva návrhy měřicí hlavice.



Obr. 4.9 Návrh adaptéru pro náboj s centrální maticí

Varianta A:

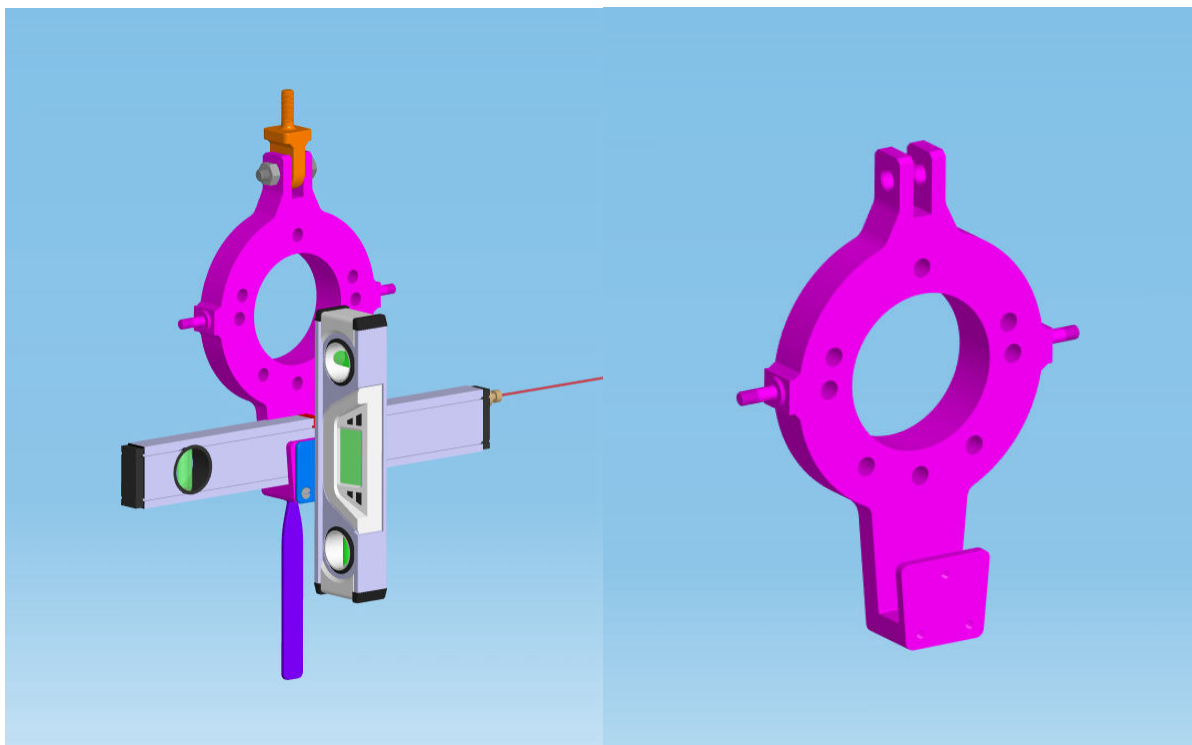
První varianta využívá velice přesných zařízení, jejich nevýhodou je nutnost přivádět elektrický proud, popřípadě odvádět naměřený signál. Měření odklonu se provádí sklonoměrem řady STS-004 firmy Sitall Electronic [21], pro zajištění rovnoběžné polohy vůči dosedací ploše adaptéru slouží zvýšené okraje plochy pro umístění sklonoměru. Sklonoměr je přichycen k hlavici šroubkem s válcovou hlavou. V dolní části je vyfrézována drážka pro výstřížek plechu, na tento ocelový plech se přikládá magnetický držák, do něj se nasouvá bodový laser firmy Petr Provazník - čárové lasery [22]. Vyfrézovaná drážka zároveň zaručuje vodorovné uložení laseru a tím i vodorovný směr paprsku.



Obr. 4.10 Varianta A měřící hlavice s příslušenstvím a bez příslušenství

Varianta B:

Druhé provedení měřicí hlavice (**obr. 4.11**) využívá bezdrátových zařízení se snadnější manipulací. Přesunutím sklonoměru do dolní části se zkrátila část horní. Do držák laseru v dolní části se vsune libela s bodovým laserovým projektorem BMI laserking 635 [23]. Držák zabezpečuje vodorovné uložení laserového projektoru. Na čelní plochu držáku, která je rovnoběžná s dosedací plochou pro adaptér, se třemi zápustnými šrouby připevní ocelový plech, na něj se přikládá magnetický sklonoměr DigiLevel Compact [24].

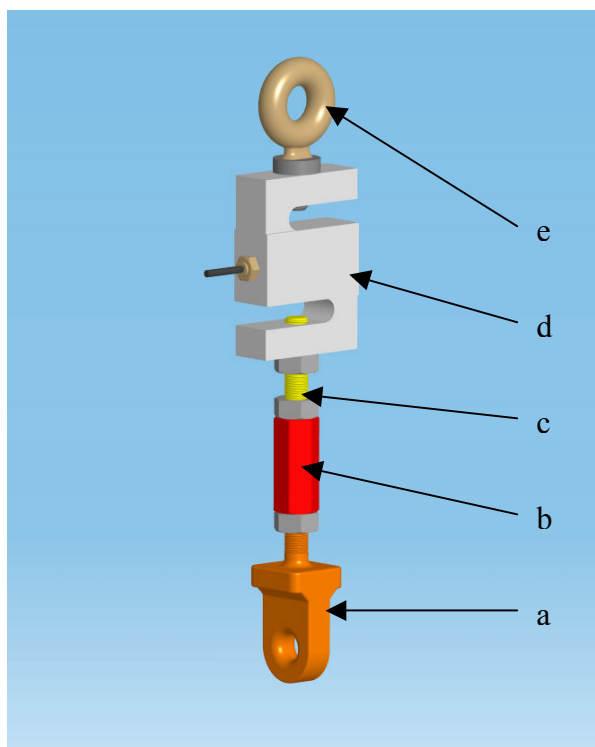


Obr. 4.11 Varianta B měřicí hlavice s příslušenstvím a bez příslušenství

Obě varianty mají řadu společných prvků. Ze spodní strany části pro uchycení laseru je závitová díra, kde se našroubuje terčík. Ten slouží jako projekční plocha liniového laseru při seřizování vozidla do vodorovné měřicí roviny. Na bočních stranách jsou umístěny čepy se závitem, na ně se nasune a maticí přitáhne zařízení pro měření výšky. V horní části je umístěno rozvidlení pro uchycení nosného oka s dírou pro lícovaný šroub. Společné jsou i připojovací rozměry hlavice k adaptéru.

4.1.3. Závěsné oko s korekcí výšky a měřením zatížení

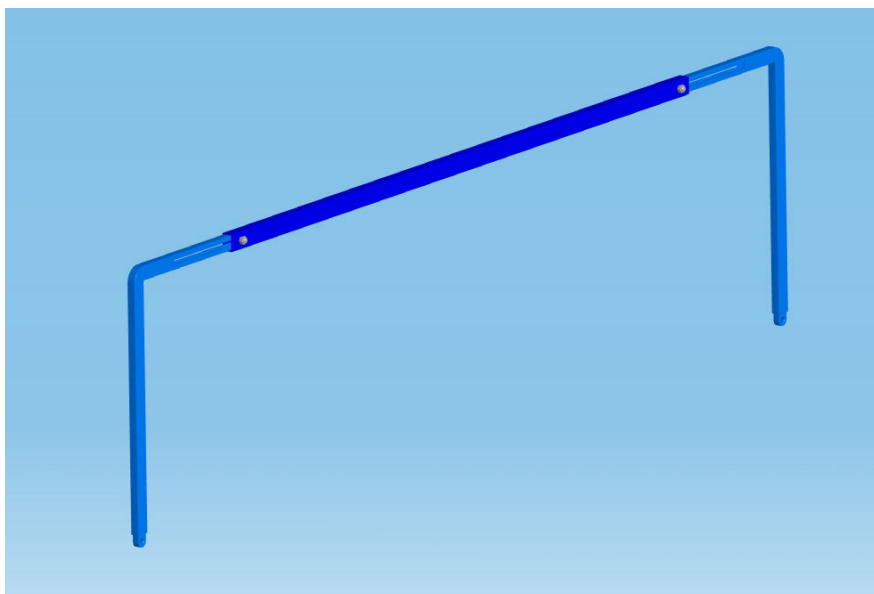
Závěsné ocelové oko vyrobené z konstrukční oceli 11 523.1 (min. $R_m = 450$ MPa, min. $R_e = 275$ MPa) (**obr. 4.12a**) slouží pro zachování svislé polohy lana při nenulovém odklonu kola. Závěsné oko s pravotočivým závitem je zašroubováno do korekční matice (**obr. 4.12b**), na druhé straně je zašroubována do korekční matice závitová tyč (**obr. 4.12c**) s levotočivým závitem. Při otáčení korekční matice dochází ke změně výškové polohy oka a tudíž i měřicí hlavice. Aby nedocházelo k samovolné změně výšky, je poloha korekční matice zakontrována maticemi M10. Na závitovou tyč je našroubován tenzometr ZEMIC H3-C3-500 (**obr. 4.12d**) [25]. Celou skupinu součástí pro zavěšení měřicí hlavice s korekcí výšky a měřením zatížení uzavírá vazací oko RGS k uchycení háku (**obr. 4.12e**) [26], nosnost vazáku je 700 kg.



Obr. 4.12 Skupina součástí pro uchycení a korekci výšky hlavice a měření zatížení

4.1.4. Zařízení pro měření výšky

Základ tvoří hliníkový jekl o délce 1250 mm, v něm jsou zasunuty dva pravoúhlé úchyty tvořené svařenými taktěž hliníkovými jekly [20]. Na vodorovném rameni úchytu je vyfrézována drážka pro zajištění šroubovým spojem v požadované poloze. Při měření se nejprve nastaví délka mezi oky úchytů, nasune se na čepy obou hlavic na nápravě a přitáhne se maticemi. Ze změřené kolmé vzdálenosti mezi vodorovnou částí výškového měřidla a odpruženou hmotou vozidla se určí výšková poloha kol vůči odpružené hmotě.

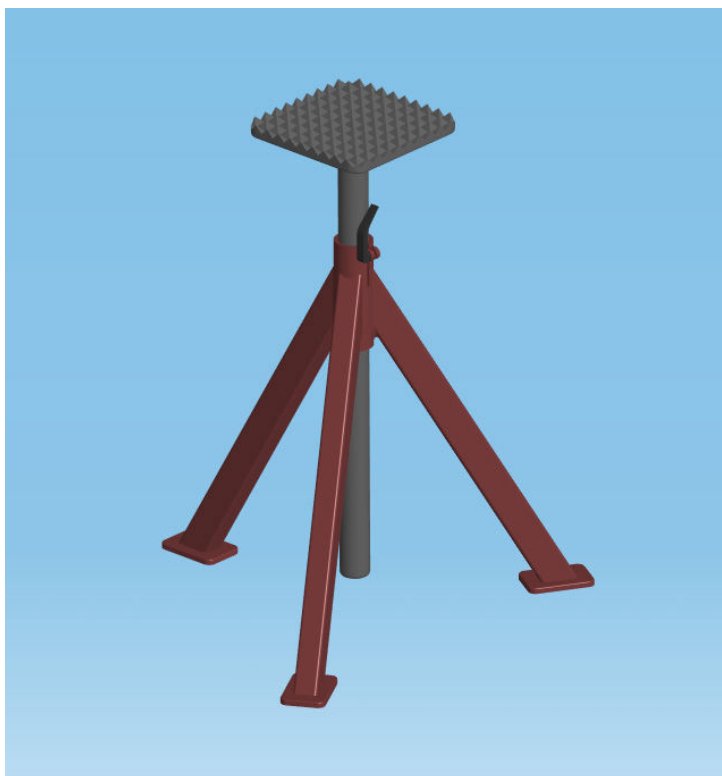


Obr. 4.13 Zařízení pro měření výšky tvořené hlavní trubkou a výsuvnými rameny

4.1.5. Aretační stojka

Slouží ke stabilizaci zavěšeného automobilu. Při nastavování a měření geometrie by zavěšené vozidlo mělo tendence k pomalému kývavému pohybu. Proto po nastavení vozidla do vodorovné polohy a ustálení v rovnovážné poloze se vozidlo stabilizuje podepřením aretačními stojkami (**obr. 4.14**).

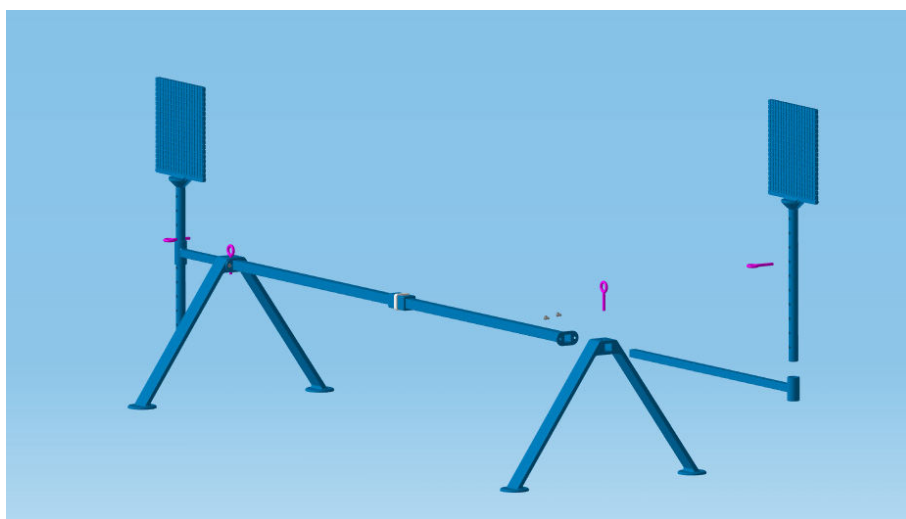
Stojku tvoří trojnožka svařená z ocelových profilů a trubky, v ní se zasouvá další trubka, jenž má na konci podpěrnou desku. Deska má vyfrézovány navzájem kolmé drážky k zamezení klouzaní automobilu po její ploše. Výšková poloha trubky s deskou je zajišťována rychloupínacím spojem.



Obr. 4.14 Aretační stojka

4.1.6. Projekční plochy

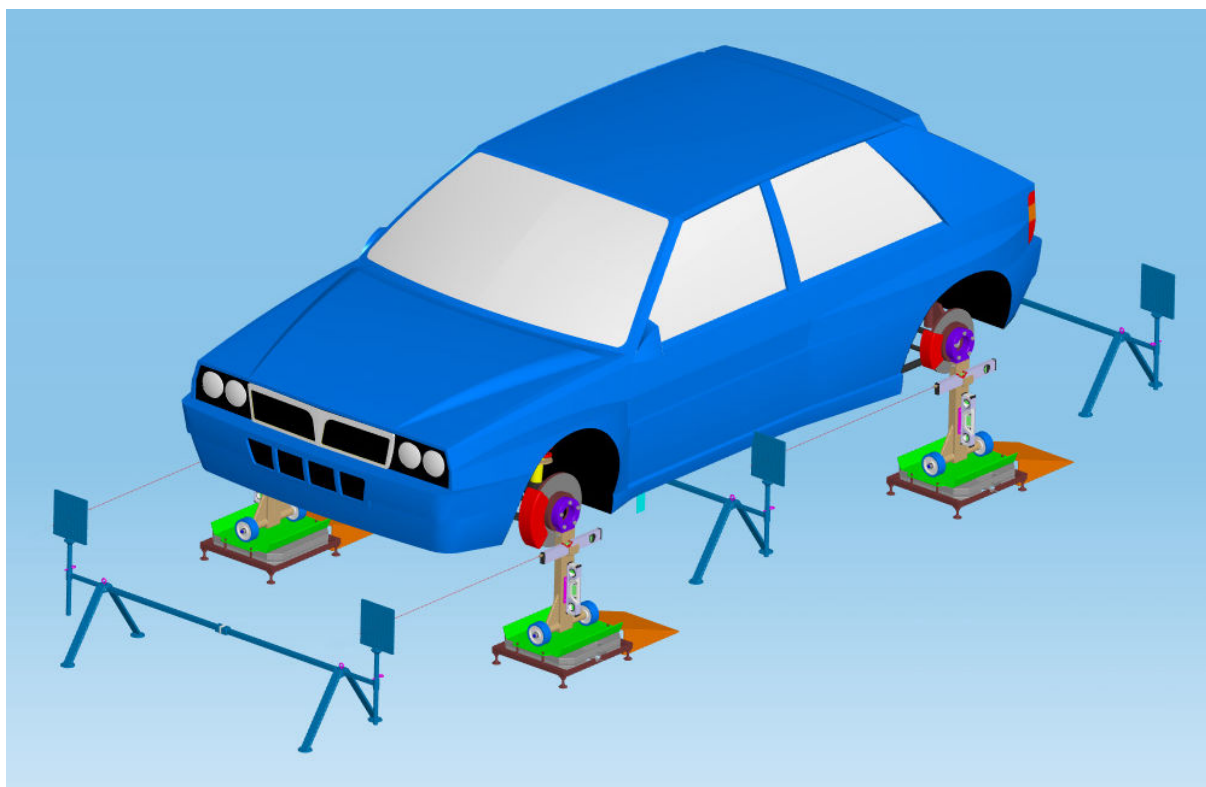
Na terčíky projekční plochy dopadají paprsky z bodových laserových projektorů, změřením vzdálenosti paprsků na stojanu projekčních ploch před a za nápravou se určí hodnota sbíhavosti. Celý systém projekčních ploch se skládá z několika součástí. Vidlicové nohy se přišroubují zápusťnými šrouby ke střední tyči. Tyč má přivařenu objímku s vyznačeným středem sloužícím pro přesné zarovnání stojanu. Z obou stran se do tyče zasouvají držáky terčů. Držáky mají po délce vyvrtány díry s roztečí 25 mm pro zajištění polohy závlačkou. Poslední součást soustavy tvoří projekční terčík, tvoří jej trubka mající po délce vyvrtané dírami s roztečí 30 mm. K trubce je přivařena samotná projekční plocha o rozměrech 180 x 200 mm. Výšková poloha terčíku je taktéž zajištěna závlačkou.



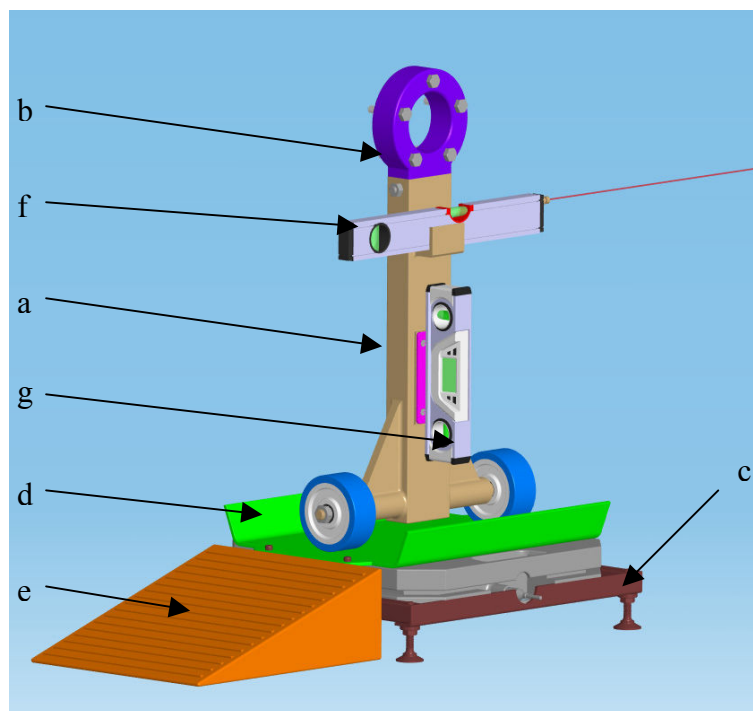
Obr. 4.15 Sestava stojanu s projekčními plochami (pravá část rozložená)

4.2. Podpěrný systém

Hlavní součást podpěrného systému tvoří podpěrné nohy s kolečky (**obr. 4.17a**) přenášející celé zatížení automobilu, a sloužící k uchycení měřících zařízení. Dále je to připojovací adaptér nasunutý v noze (**obr. 4.17b**), podpěrné nohy s kolečky stojí na nivelačních podložkách s váhami (**obr. 4.17c**). Na váze je položeno plechové koryto (**obr. 4.17d**) zamezující sjetí noh z podložek. Mezi zbylé součásti patří nájezdy (**obr. 4.17e**), laserový projektor (**obr. 4.17f**), digitální sklonoměr (**obr. 4.17g**), projekční plochy a terčíky pro měření výšky (**obr. 4. 23**). Nosnost každé podpěrné nohy je 375 kg.

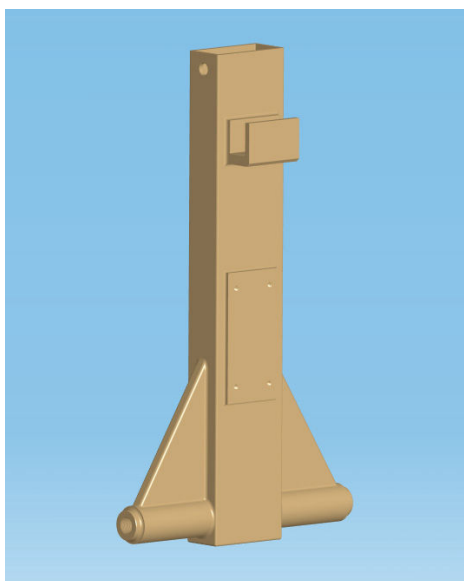


Obr. 4.16 Součásti podpěrného systému - celkový pohled

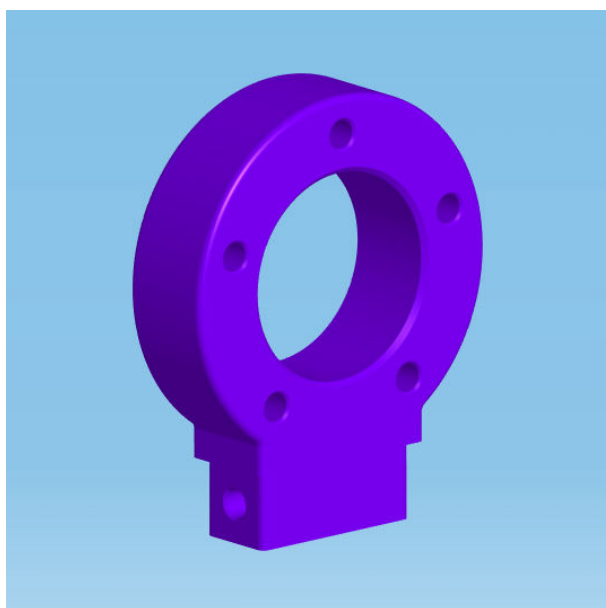


Obr. 4.17 Součásti podpěrného systému - detailní pohled

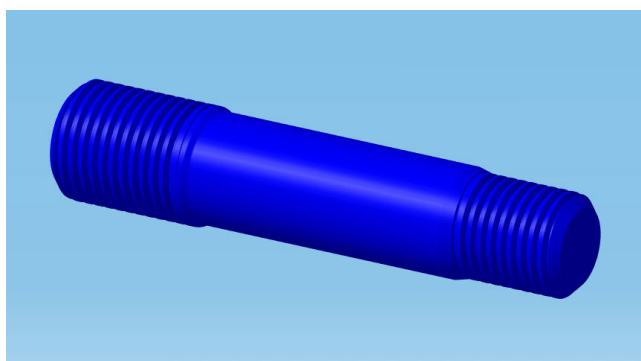
Podpěrná noha (**obr. 4.18**) je svařená z hliníkových profilů, materiál je stejný jako u měřicí hlavice závěsného systému, do vrchní části se zasunuje hliníkový adaptér (**obr. 4.19**) zajišťující univerzálnost použití. Rozměry adaptéru jsou dány tvarem a rozměry náboje příslušného automobilu, pro nějž je adaptér určen. Společné jsou jen rozměry stopky zasouvané do nohy a umístění díry pro pojišťovací šroubový spoj. Na čelní ploše nohy je držák pro bodový laserový projektor BMI laserking 635, pod ním leží deska vyfrézovaná do roviny se závitovými děrami. K desce se čtyřmi zápusťnými šrouby připevní ocelový plech o tloušťce 4 mm, plech vytváří dosedací plochu pro digitální sklonoměr DigiLevel Compact. V bočních trubkových osazeních jsou závity pro našroubování hřídelí (os) (**obr. 4.20**).



Obr. 4.18 Podpěrná noha bez příslušenství



Obr. 4.19 Návrh adaptérů pro podpěrný systém

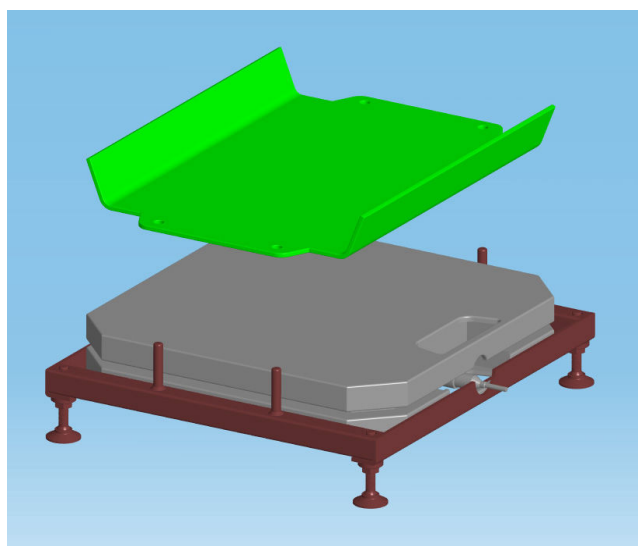


Obr. 4.20 Ocelová osa kolečka

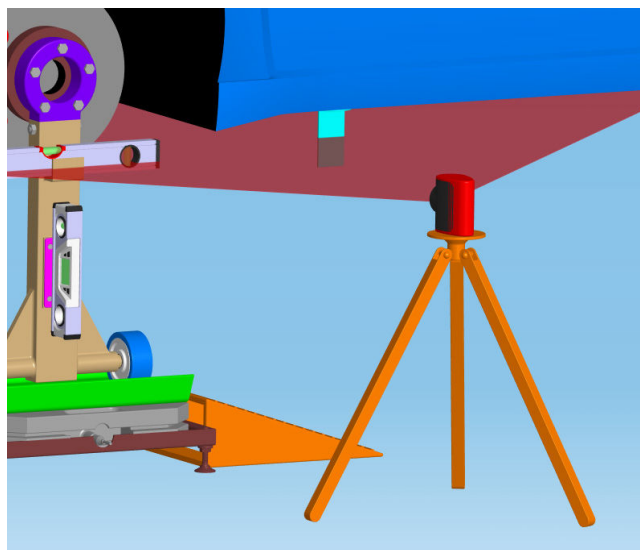
Podpěrná noha stojí na dvou kolečkách ADINYL SOFT-J firmy Navrátil s.r.o [27]. Průměr kolečka je 100 mm, šířka 40 mm, plášť je vyroben z polyuretanu, disk tvoří polyamid, díky jehlovému ložisku je nosnost každého kolečka 250kg. Kolečka slouží pro minimalizaci tření mezi podložkou a podpěrnou nohou a tím k ustálení nápravy v rovnovážné poloze, tím se eliminují nepřesnosti měření. Kolečko je zajištěno maticí našroubovanou na ose kolečka. Tato ocelová hřídel je našroubována do hliníkové nohy z důvodu vysokého ohybového namáhání v místě přechodu z osazení na osu kolečka, materiálem je ocel 11 600 ($R_m = 600 \text{ MPa}$, $R_e = 320 \text{ MPa}$). Do nohy se osa šroubuje závitem M16, zavít pro matici zajišťující kolečka je M14, dřík má průměr 15 mm.

Nivelační podložka Longacre L72900 [28] zarovnává elektronické váhy do vodorovné měřicí roviny, k zarovnání dochází pomocí šroubovacích nožek. Plošinové váhy Longacre Matrix [28] ukazují jak celkovou hmotnost, tak zatížení jednotlivých kol. Na vahách jsou položena plechová korýtka, ta brání sjetí automobilu postaveného na nohách z vah. Poloha korýtek je zajištěna nasunutím na kolíky, jenž jsou navaženy k nivelačním podložkám.

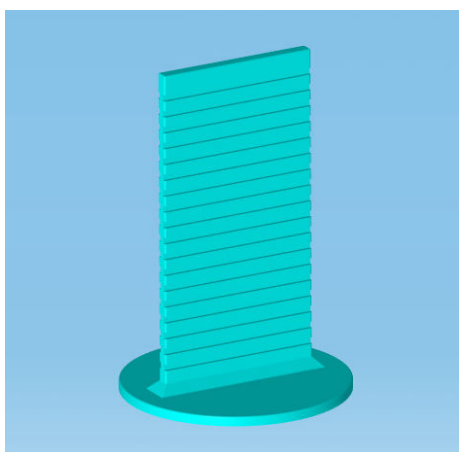
Měřicí soustavu doplňují nájezdy pro najetí vozidla na váhy a projekční plochy, které se neliší od těch užívaných u závěsného systému. Poslední součástí je magnetický terčík (**obr. 4.22, 4.23**) se značkami pro měření světlé výšky. Terčík se přichytí na spodní část karoserie a pomocí liniového laseru se určí světlá výška.



Obr. 4.21 Nivelační podložka a váha Longacre s plechovým korýtkem



Obr. 4.22 Liniový laser na stativu osvětlující magnetický terč



Obr. 4.23 Detail terčiku pro měření výšky

5. Příslušenství měřících systémů

Pro zajištění přesného a spolehlivého měření je nutností vybrat vhodné měřicí přístroje a potřebné příslušenství. V této kapitole je slovně popsáno doporučené příslušenství, v tabulkách s technickými parametry jsou u některých skupin přístrojů uvedeny pro porovnání podobné přístroje (doporučené jsou zvýrazněny). Některé příslušenství lze nahradit alternativními přístroji, ale některým je přizpůsobená konstrukce určitých navržených součástí, tudíž je lze nahradit pouze při změně konstrukce navržených dílů.

5.1. Sklonoměry

Skonoměry se měří odklon kol a pomocí změny odklonu při natáčení kol i záklon rejdové osy. Vyrábí se různé varianty, nejčastěji to jsou příkladací elektronické sklonoměry s číslicovým displejem, popřípadě snímače sklonu - inklinometry.

DigiLevel Compact:

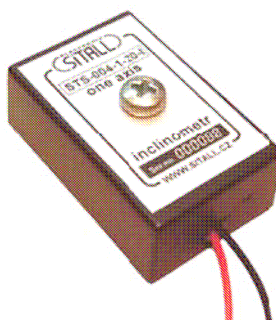
Digitální elektronický sklonoměr s displejem, změřené hodnoty se zobrazují ve stupních, procentech nebo palcích na stopu. Akustický signál upozorňuje na dosažení horizontální nebo vertikální polohy. Lze měřit i poměrný úhel vůči předem nastavené hodnotě. Výhodou je magnetický držák, relativně nízké rozměry (délka 230 mm) a dobrá přesnost měření. Podrobné technické parametry zařízení v **tab.5.1**. [24]



Obr. 5.1 Sklonoměr DigiLevel Compact [24]

Sitall Electronic STS-004

Praktický a kompaktní elektronický inklinometr, jednoosé měření sklonu, velmi vysoká přesnost i rozlišovací schopnost, proudový výstup (4 - 20 mA). Může pracovat v teplotách od -10 °C do 70 °C. Výhodou jsou velmi malé rozměry (32 x 20 x 10 mm), nevýhodou je přívod zdroje elektrického napětí a potřeba výpočetního zařízení pro zpracování naměřených dat. Podrobné technické parametry zařízení v **tab.5.1**. [21]



Obr. 5.2 Inklinometr Sitall Electronic STS-004 [21]

S-DIGIT Multi

Lehký elektronický sklonoměr z hliníkové slitiny, alternativa k přístroji DigiLevel Compact. Sklon měří v procentech nebo stupních, je vybaven 1/4“ závitem, lze měřit i úhel mezi dvěma plochami pomocí paměťové funkce. Výhodou je otočný displej a malé rozměry, nevýhodou je nižší přesnost. Podrobné technické parametry zařízení v **tab.5.1**. [29]



Obr. 5.3 Sklonoměr S-DIGIT Multi [29]

název	největší rozměr [mm]	rozlišení [°]	přesnost [%]	hmotnost [g]	napájení	cena s DPH [Kč]
Bear Level Box	50	0,1	0,1	-	1 x 3V	1215,-
Clinotronic Plus	100	0,01	0,05	500	1,5V	25000,-
DigiLevel	625	0,1 - 0,2	0,05	800	2 x 1,5V	2050,-
DigiLevel Compact	230	0,1 - 0,2	0,05	800	2 x 1,5V	1425,-
DigiLevel Pro	610	0,1 - 0,2	0,05	810	2 x 1,5V	2850,-
Mitutoyo 360	153	0,1	0,2	300	9V	10200,-
Mitutoyo 3600	153	0,01 - 0,1	0,1	300	9V	16950,-
NEDO 600	600	0,1	0,2	800	-	4659,-
PROMA LV-1D	600	0,1	0,05	700	9V	2840,-
S-DIGIT	600	0,1	0,2	850	3 x 1,5V	5806,-
S-DIGIT mini	156	0,1	0,2	300	3 x 1,5V	3653,-
S-DIGIT multi	250	0,1	0,2	500	3 x 1,5V	5875,-
SCHUT	150	0,1 - 0,2	0,1	-	-	1530,-
STS-004-1-30	32	0,01	0,07	-	7 - 36 V	3570,-

Tab. 5.1 Přehled sklonoměrů s technickými parametry a cenou

5.2. Laserové projektory

Přístroje vytvářející laserový paprsek lze využít pro různá měření polohy, vzdáleností nebo úhlů. U navržených měřicích systémů jsou využity dva typy laserových paprsků: bodové a liniové. Bodové lasery nahrazují podélnou, středí osu kola, z odrazu paprsku na projekčních plochách se určí sbíhavost. Liniové lasery vytvářejí vodorovnou nebo svislou rovinu. Vodorovný paprsek se používá pro správné zarovnání měřicího zařízení a nebo přímo vozidla do roviny, čímž se minimalizují chyby měření. Pomocí svislého liniového paprsku se zarovnávají projekční plochy do příslušné polohy.

Bodový laser 5mW

Laser firmy Petr Provazník s výkonem 5mW jasně červené barvy má velice kompaktní rozměry, velmi malou hmotnost a vysokou přesnost. Má velmi odolný duralový obal, ochranu proti přepólování přívodního napětí, celková konstrukce je velmi odolná. Výhodou je možnost zvýšení přesnosti laseru v průběhu výroby při zadání vzdálenosti do jaké bude laser svítit a cena zařízení, nevýhodou je přívod napětí kabely. Podrobné technické parametry zařízení jsou v **tab.5.2.** [22]



Obr. 5.4 Bodový laser firmy Petr Provazník - Čárové lasery [22]

BMI Laserking 635

Vodováha s bodovým laserem, laserový modul je pevně uložen v hliníkovém těle vodováhy, výkon paprsku je 1mW, životnost baterií cca 8 hodin. Výhodou je bateriové napájení, nevýhodou jsou větší rozměry. Podrobné technické parametry zařízení jsou v **tab.5.2.** [23]



Obr. 5.5 BMI Laserking 635 [30]

Stabila 80 LMX-S

Precizní laserová vodováha s vysokou svítivostí. Je vybavena patentovaným zaměřovacím systémem, 5/8" závitem pro připojení magnetického stativu. Mezi výhody tohoto laseru patří dlouhá provozní doba (až 16 hodin) a velký dosah, nevýhodou jsou větší rozměry. Podrobné technické parametry zařízení jsou v **tab.5.2.** [31]



Obr. 5.6 Laserová vodováha Stabila 80 LMX-S [31]

název	délka [mm]	přesnost [mm/m]	dosah [m]	napájení	cena s DPH [Kč]
BMI laserking 635	350	0,3	45	2 x 1,5V	5831,-
Bosch PLL 5	-	1,0	5	2 x 1,5V	1036,-
EL 168	178	5,0	20	2 x 1,5V	825,-
HandyLaser Compact	170	0,5	50	2 x 1,5V	740,-
Laser bod. - Provazník	90	0,6	5	3 až 24V	1334,-
OSLEVELG	500	1,0	30	-	464,-
PROMA LV-2K	400	0,5	30	2 x 1,5V	1390,-
Skil 0500AB	-	1,2	-	2 x 1,5V	2070,-
Skil minilaser Bosch	-	2,0	5	-	890,-
STABILA LMX-S	400	0,5	40	2 x 1,5V	5368,-
STANLEY SP-2	-	0,4	30	3 x 1,5V	2272,-
STANLEY SPK	-	0,4	30	3 x 1,5V	2062,-

Tab. 5.2 Přehled bodových laserů s technickými parametry a cenou

Leica Lino L2

Křížový laser s kvalitní optikou, úhel rozpětí paprsků 120°, automatické zarovnání do vodorovné polohy (samonivelace) pracuje až do 4° úhlu naklonění podložky, při překročení náklonu 4° se projektor automaticky vypne. Laser lze přepojit do pulsního režimu. Výhodou je dobrá ochrana proti prachu a vlhkosti, vysoká přesnost, svislý a vodorovný paprsek lze vypínat a zapínat nezávisle. Nevýhodou je nižší dosah a vyšší cena. Podrobné technické parametry zařízení jsou v **tab.5.3**. [32]



Obr. 5.7 Křížový laser Leica Lino L2 [32]

Stabila LAX 200

Křížový, samonivelační liniový laser s otočným tělem, širokoúhlá projekční linie (až 150°). Odolný obal s magnetem pro přichycení na kovové součásti, výkon laseru 1mW. Předností tohoto liniového laseru je výkyvné tělo, nevýhodou pak nepatrně nižší přesnost a nelze vypínat jednotlivé paprsky. Podrobné technické parametry zařízení jsou v **tab.5.3.** [31]



Obr 5.8 Křížový laser Stabila LAX 200 [31]

název	samoniv. [°] *	přesnost [mm/m]	dosah [m]	Hmotnost [g]	napájení	cena s DPH [Kč]
Bosch BL 2L	4	0,3	20	450	3 x 1,5V	8000,-
Bosch PCL 10	4	0,5	10	500	2 x 1,5V	2725,-
Cross-Line Laser CLL6	5	0,2	30	-	3 x 1,5V	12100,-
EDO CROSSLINER II	3	0,3	20	-	3 x 1,5V	5700,-
FL 40 Pocket HP	4	0,3	20	800	3 x 1,5V	5700,-
FLG 40 Green	3,5	0,3	20	800	NiMH	11780,-
Laserliner ACL 2 RX	6	0,3	50	-	-	8100,-
Leica LINO L2	4	0,2	15	320	3 x 1,5V	10000,-
Provazník – čar. laser	0	0,5	5	20	12V	1750,-
SKIL 0515 AB	3	0,5	-	460	3 x 1,5V	2240,-
STABILA LAX 200	4,5	0,3	20	-	3 x 1,5V	8100,-

* samonivelace je uvedena v úhlu naklonění podložky, po který dochází z samozarovnění do roviny

Tab. 5.3 Přehled čárových laserů s technickými parametry a cenou

5.3. Tenzometry

Užívání tenzometrických snímačů sil je navrženo u závěsného měřicího systému. Tahové snímače měří zatížení jednotlivých kol vozidla. Pro měření by bylo možné použít i závěsné váhy, ty ale mají vyšší hmotnost a nižší přesnost, proto jsou pro měření zatížení doporučeny samostatné odporové tahové snímače. Je nutné užití zařízení pro zpracování a vizualizaci naměřených hodnot. Jedinou nevýhodou tenzometrů je užití kabelů pro přenos signálu.

ZEMIC H3-C3

Certifikovaný odporový snímač čínského výrobce ZEMIC přináší výhodnou kombinaci přesného měření a nízké ceny. Tahový snímač je uložen v pouzdře z hliníkové slitiny a zataven lepidlem. Lze použít snímače s různou nosností, s rostoucí nosností klesá rozlišovací přesnost zařízení. Detailní technické informace uvedeny v **tab. 5.4**. [33]



Obr. 5.9 Odporový tahový snímač ZEMIC H3-C3[33]

název	nosnost [kg]	přesnost [%FS] *	linearita [%FS] *	přesnost [kg]	cena [Kč]
Ahlborn FKA0251	500	0,1	-	0,5	18635,-
AST-500	500	0,05	0,025	0,25	5785,-
LC101-1K	500	0,03	0,03	0,15	9820,-
LUKAS S-22	500	0,5	-	2,5	12700,-
PT4000-750lb	340	0,03	0,017	0,102	-
SENSOCAR SENS2A	300	0,033	-	0,1	9140,-
SLC-101BH	300	0,02	0,017	0,06	-
SYWA SYWS01T	1000	0,033	-	0,3333	6000,-
Utilcell M650	500	0,017	-	0,085	-
ZEMIC H3-C3-500	500	0,02	0,02	0,1	6267,-

* FS = Full Scale - celková nosnost

Tab. 5.4 Přehled tenzometrických snímačů s technickými parametry a cenou

5.4. Navijáky

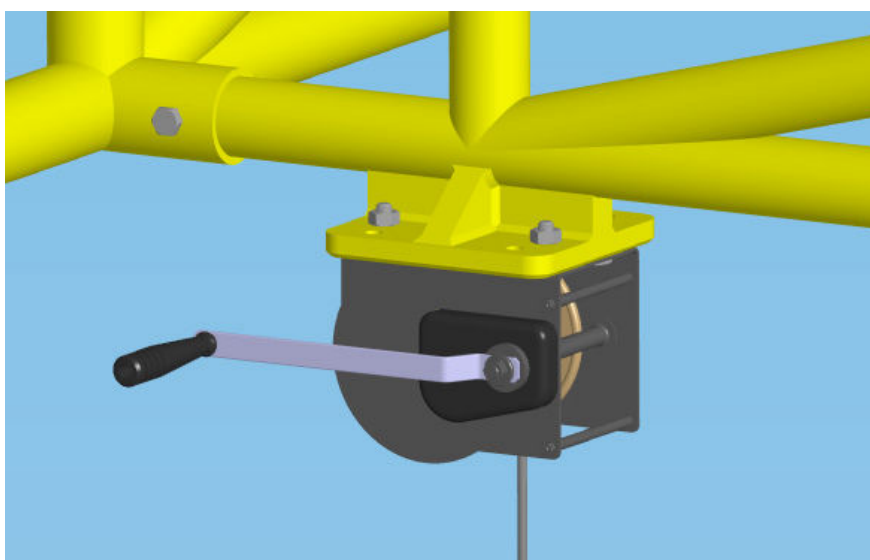
U závěsného systému se využívají navijáky pro zdvižení vozidla a zajištění ve stabilní výškové poloze. Lze použít pouze navijáky určené pro zdvihání zátěže a to pouze ty, jenž jsou vybaveny samosvorným brzdícím mechanismem. Jelikož je nutné užít navijáky s určitými tvary a rozměry, které nebudou kolidovat s tvary a rozměry nosného rámu, a které mají požadované připojovací rozměry, není v práci uveden přehled alternativních možností.

Talbot 6AF

Ruční naviják s pozinkovanou konstrukcí a samočinnou brzdou. Maximální zatížení v první vrstvě lana je 500 kg. Celková hmotnost je 3,7 kg ; převodový poměr 1:3,5 ; kvalitní a spolehlivá konstrukce. Výhodou ručního navijáku je nižší hmotnost a cena, není potřeba přivádět napětí, jednoduchá údržba. Nevýhodou je nutnost obsluhovat všechny navijáky najednou při zvedání vozidla. [26]



Obr. 5.10 Ruční naviják Talbot 6AF [26]



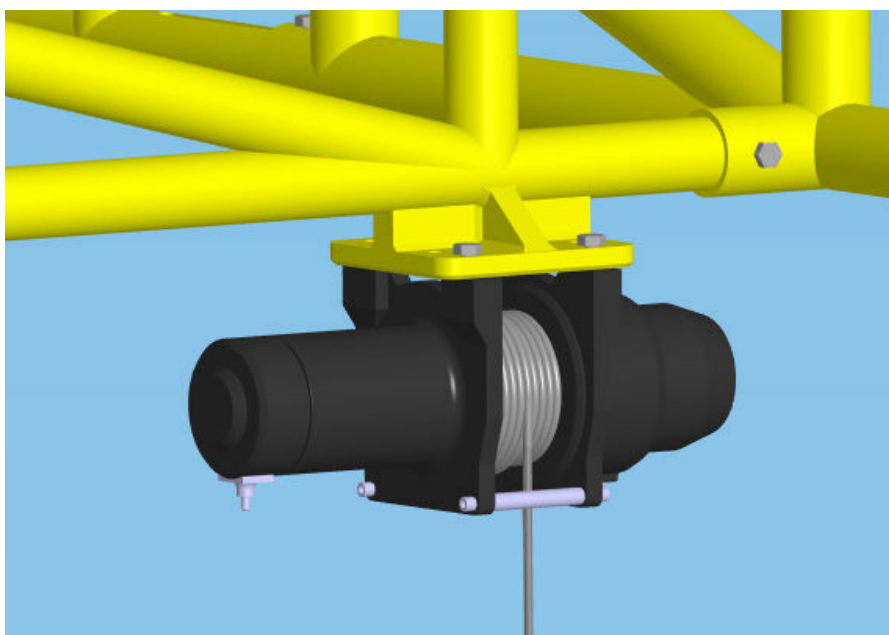
Obr. 5.11 Model navijáku Talbot 6AF a jeho připojení k rámu

COME-UP HD-1200

Elektrický naviják s planetovou převodovkou a nosností do 545 kg, automatická kuželová brzda. Rychlost zdvihu v první vrstvě lana je 9 cm/s, napájen může být 12 V nebo 24 V napětím, hmotnost je 15 kg. Hlavní nevýhodou tohoto navijáku je vysoká hmotnost, naopak výhodou je vysoká rychlost navíjení, velká nosnost a hlavně při použití na nosném rámu lze zvedat všemi navijáky najednou při obsluze jedinou osobou. [34]



Obr. 5.12 Naviják COME-UP HD-1200 [34]



Obr. 5.13 Model navijáku COME- UP HD-1200 a jeho připojení k rámu

5.5. Váhy s nivelačními podložkami

Podpěrný systém využívá k měření zatížení plošinové váhy, pro měřicí systém byly vybrány váhy Longacre Matrix. Zobrazují zatížení jednotlivých kol i celkové zatížení. Má jednoduchou obsluhu, paměť pro uložení až osmi měření. Rozměry plošinové váhy jsou 381 x 381 x 64 mm. Váhy jsou položeny na nivelačních podložkách Longacre L72900 pomocí nichž se váhy a tím i celé vozidlo zarovnávají do vodorovné polohy. [28]

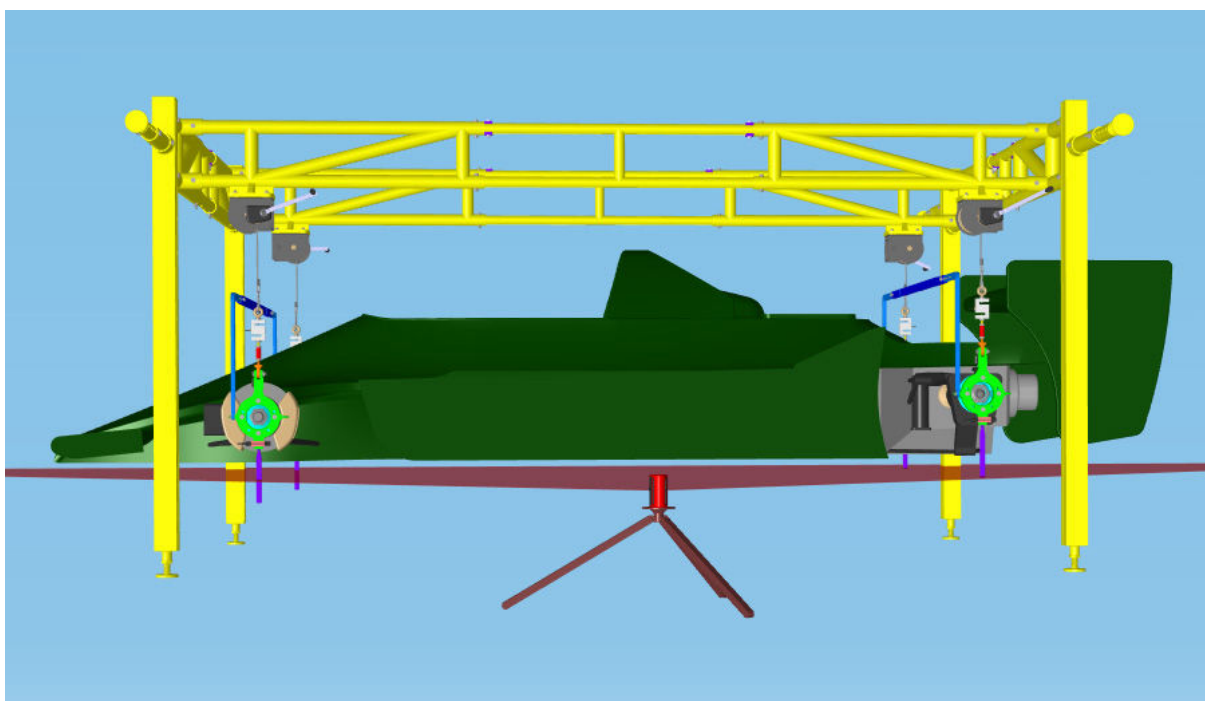


Obr 5.14 Váhy s nivelačními podložkami Longacre [28]

6. Postup přípravy a měření

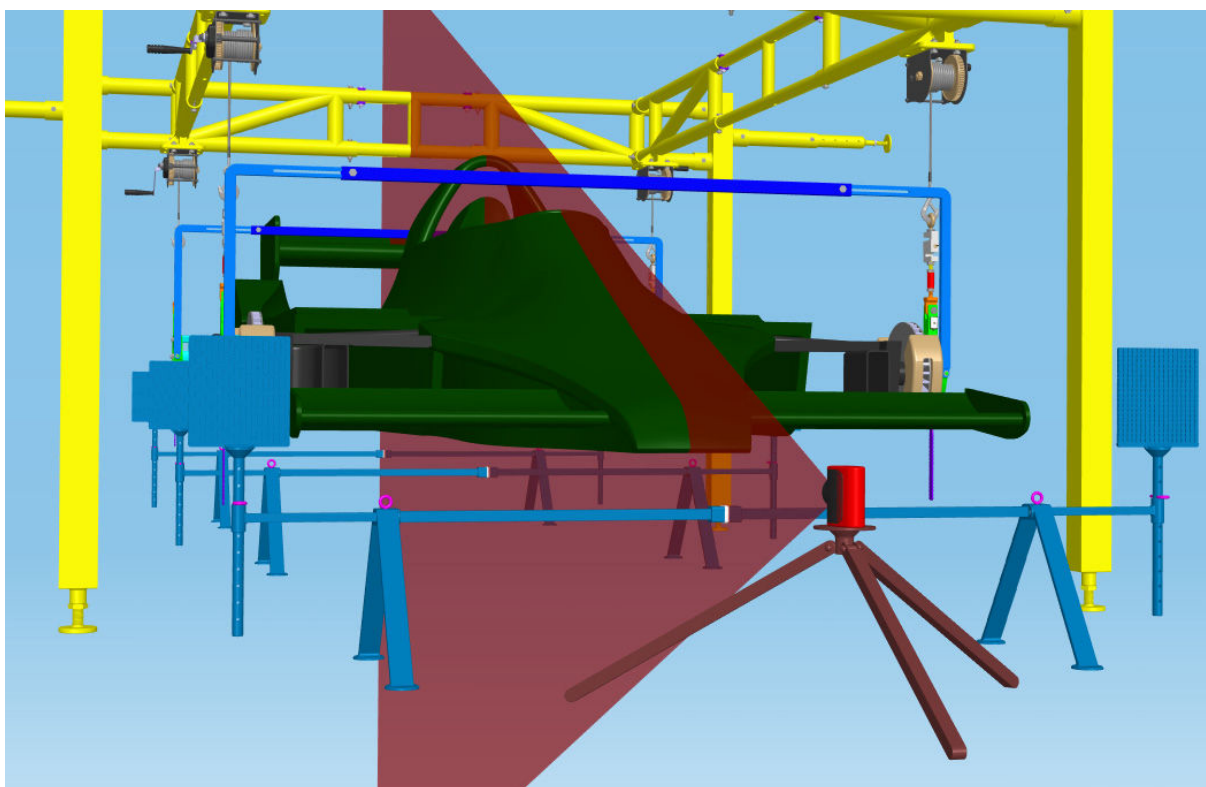
6.1. Postup přípravy závěsného systému

Před započítím samotného měření je nutné nachystat celou měřicí aparaturu a zarovnat ji do správných pozic, správným zarovnáním se minimalizují nepřesnosti měření. Nejprve se složí a sešroubuje nosný rám, délka a šířka se nastaví na rozměry daného vozidla. Pokud již jsou na měřené vozidlo nastaveny dorazy z předchozího určování geometrie, tak se snadno nosníky nasunou až k dorazům bez nutnosti celkové rozměry vyměřovat. Poté se šroubovací nožky ustaví do takové výšky, aby byly všechny čtyři nohy rámu v kontaktu s podlahou, a tudíž nedocházelo ke kývání nebo houpání rámu. Pokud to prostředí, v němž měření probíhá, dovoluje, zajistí se ještě rám tyčemi pro zapření, tím se zafixuje rám do stabilní polohy. Poslední přípravou rámu je připevnění navijáků.



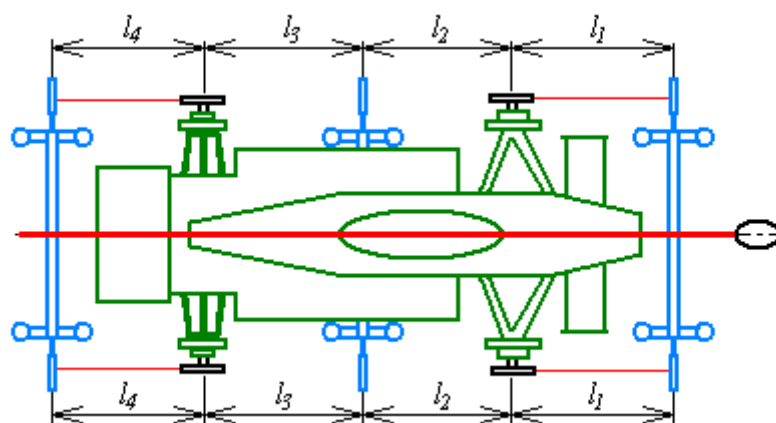
Obr. 6.1 Umístění liniového laseru

Pod sestavený rám se najede s vozidlem nejlépe tak, aby byla všechna kola pod navijáky. Vozidlo se zvedne pomocným heverem, místo kol se na náboje přichytí patřičné adaptéry, k nim měřicí hlavice se skupinou součástí pro zavěšení. Spustí se navijáky, ty se zaháknou za vázací oka a vozidlo se zvedne do potřebné měřicí výšky. Liniový laser se umístí tak, aby paprsek dopadal na všechny terčíky pro změření výšky hlavice (**obr. 6.1**). Po automatickém zarovnání paprsku do roviny lze nastavit vozidlo do roviny. Terčíky pro dopad paprsku laseru mají výškovou stupnici, samotná úprava výšky se provede korekční maticí (**obr. 4.12b**). U vozidla zarovnaného do vodorovné polohy lze tenzometrickými snímači změřit rozložení hmotnosti automobilu. Když se vozidlo ustálí v stabilní poloze, v přední a zadní části se zajistí aretačními stojkami. Stojky se pouze zasunou pod pevnou část vozidla, zvednou do potřebné výšky a rychloupínacím spojem se zajistí udržení potřebné výškové polohy. Stojky mírně vozidlo odlehčí, čili při jejich užití je nevhodné měření zatížení, ale zamezí se kývání a houpání vozidla na lanech, tedy vzniku dalších nepřesností a komplikací.



Obr. 6.2 Stojany s projekčními plochami zarovnány podle liniového paprsku

Dalším krokem přípravy je rozmístění a zarovnání projekčních ploch. Nejprve se všechny stojany s projekčními plochami nastaví na stejnou potřebnou šířku a výšku. Podstatné je, aby byly osově symetrické, toho se snadno dosáhne vysunutím obou držáků terčů do stejné vzdálenosti a zasunutím závlačky do příslušné díry. Po rozmístění stojanů k vozidlu se musí zarovnat do správné polohy, k tomu se využije svislý paprsek liniového laseru. Pomocí značek na karoserii označujících polohu střední roviny se laser nastaví, aby paprsek vytvářel pomyslnou střední rovinu vozidla. Poté se posunou stojany tak, aby paprsek dopadal na značku stojanu určující jeho střed (**obr. 6.2**). K dokončení zarovnání je nutné vyrovnat stojany s projekčními plochami do kolmé polohy vůči liniovému paprsku (**obr. 6.3**). Toho lze uskutečnit změřením vzdálenosti mezi středem měřicí hlavy a vnější svislou hranou projekční plochy na obou stranách vozu (l_1 až l_4).

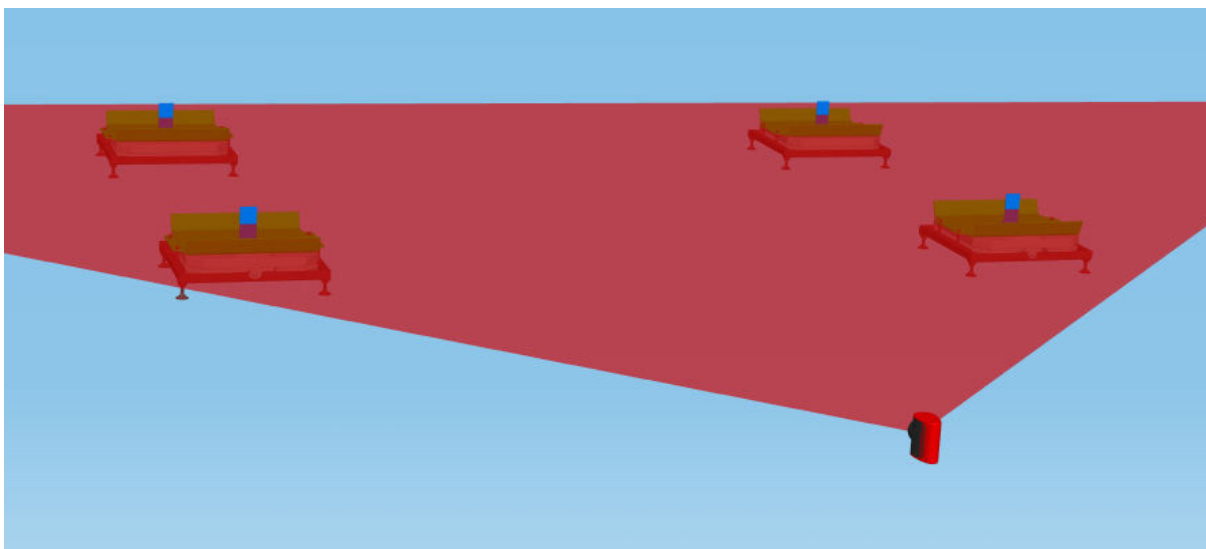


Obr. 6.3 Zarovnání stojanů s projekčními plochami do kolmé polohy

V případě, že jsou vzdálenosti od středu hlavic k určitému stojanu shodné, leží tento stojan s projekčními plochami v kolmé poloze vůči střední rovině vozu. Stojan umístěný mezi nápravami stačí zaměřit vůči jedné nápravě. Toto zarovnání projekčních ploch je nezbytné pro spolehlivé zjišťování dělené sbíhavosti. Zarovnáním stojanů s projekčními plochami a osazením systému zbývajících měřicími přístroji končí přípravná fáze a může začít samotné měření jednotlivých parametrů geometrie.

6.2. Postup přípravy podpěrného systému

Stejně jako závěsný systém, je potřeba rozmístit a zarovnat součásti podpěrného měřicího systému, aby bylo dosaženo správného a přesného měření. Ze všeho nejdřív se rozmístí do správných vzdáleností nivelační podložky s váhami, ty se nejprve pomocí vodováhy samostatně zarovnají do roviny a poté pomocí terčů a liniového laseru nastaví do společné roviny (**obr. 6.4**). Na zarovnané podložky s váhami se zasunou korýtky s leštěnou horní plochou, korýtky slouží proti sjetí podpor z vah a k minimalizaci tření. Dále se přisunou k plošinám nájezdy, vozidlo vyjede na váhy a zvedne se pomocným heverem. Namísto sundaných kol se našroubují podpěrné nohy s kolečky a vozidlo se opět spustí na váhy.



Obr. 6.4 Nastavování podložek s váhami do roviny pomocí liniového laseru

Zbývá již jen zarovnat stojany s projekčními plochami a umístit příslušenství pro měření výšky. Jelikož se používají stejné projekční plochy jako u závěsného systému, je i postup jejich zarovnání shodný: zarovnat liniový laser, vycentrovat stojany, změřit a zajistit jejich kolmé postavení. Pro změření výšky se na vhodná místa karoserie připevní magnetické terče se stupnicí. Liniový laser se umístí tak, aby jeho vodorovný paprsek dopadal na všechny terče.

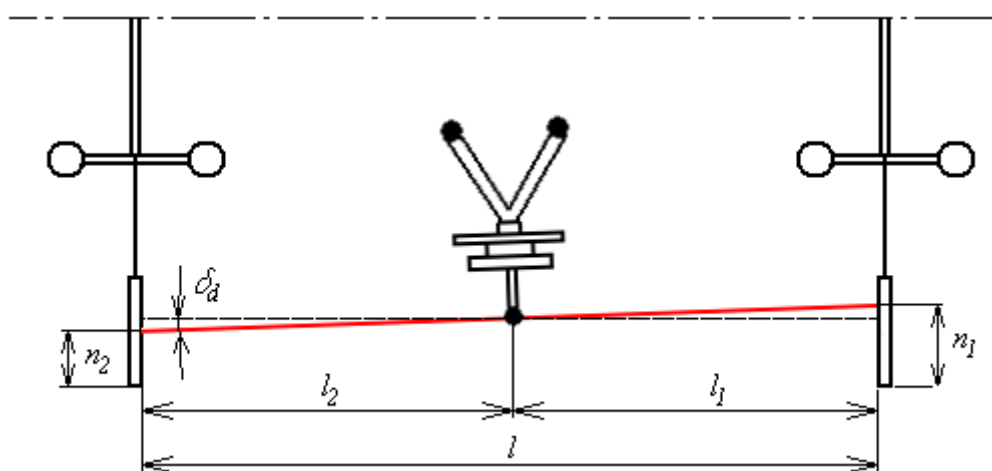
6.3. Měření parametrů geometrie

Pokud je již veškerá aparatura nachystána a zarovnána, a na hlavicích nebo nohách jsou rozmístěny veškeré měřicí přístroje, lze přistoupit k měření hodnot parametrů geometrie. Oba měřicí systémy využívají stejnou metodiku pro zjišťování sbíhavosti, odklonu kol a záklonu rejdové osy, liší se ve způsobu měření výšky vozidla.

Odklon kol se zjistí velice rychle, buď odečtením hodnoty na displeji digitálního sklonoměru, nebo zpracováním signálu a zobrazením výsledků ze snímačů sklonu. Pro zjištění záklonu rejdové osy na přední nápravě je potřeba natočit kola nejprve na jednu stranu a změřit odklon, poté na druhou stranu o stejný úhel a taktéž změřit odklon. Zabezpečení natočení kol o stejný úhel lze s využitím projekčních ploch, jestliže je již nastavena a zaručena stejná sbíhavost na obou kolech. Pokud si hodnoty odklonu při natočení odpovídají, pak je nastaven na obou stranách stejný záklon rejdové osy. Pro určení přesné hodnoty záklonu je nutností znát závislost mezi hodnotou záklonu rejdové osy a odklonu kola pro daný úhel natočení kola.

Sbíhavost kola se měří na projekčních plochách (**obr. 6.5**). Paprsek z bodového laseru se nasměruje na projekční plochu před nápravou, a změří se nekratší vzdálenost obrazu paprsku od vnější svislé hrany projekční plochy n_1 . Pak se laser nasměruje na druhou stranu a taktéž se změří vzdálenost paprsku od svislé hrany plochy za nápravou n_2 . Je možné měřit nejprve k ploše za nápravou a pak před nápravou, jelikož na pořadí ploch, ke kterým se měří, nezáleží. Ze změřených hodnot a ze znalosti vzdálenosti mezi oběma projekčními plochami l se rovnicí 6.1 vypočítá hodnota sbíhavosti δ_d daného kola.

$$\delta_d = \arctan\left(\frac{n_1 - n_2}{l}\right) \quad (6.1)$$



Obr 6.5 Měření sbíhavosti laserovým paprskem

Automobil u závěsného systému může viset v jakékoliv výšce nad zemí, proto nelze měřit světlou výšku bez znalosti výškové polohy kol (zavěšení). Určuje se tedy výšková poloha neodpružené hmoty vůči odpružené. K tomu lze využít navržené zařízení pro měření výšky. Výsuvná ramena (**obr 4.13**) se nastaví na požadovanou délku, a nasunou se na čepy umístěné po bocích měřících hlavic. Poté se změří kolmá vzdálenost mezi horní hranou „výškoměru“ a vybranou částí vozidla. Aby bylo možné stanovit hodnotu světlé výšky ze změřené vzdálenosti, je potřeba znát rozdíl těchto hodnot. K tomu postačuje změřit experimentálně jednu hodnotu z výškoměru a světlé výšky pro dané výškové nastavení podvozku, ostatní hodnoty se snadno přepočtou.

Světlá výška u podpěrného systému se měří liniovým laserem svítícím na magnetické terčíky přichycené k spodní části vozidla. Důležité je výškově nastavit laser vždy do správné, předem určené výšky. Liniový paprsek osvětlí stupnici terčíku a ze znalosti převodního stavu se určí hodnota světlé výšky.

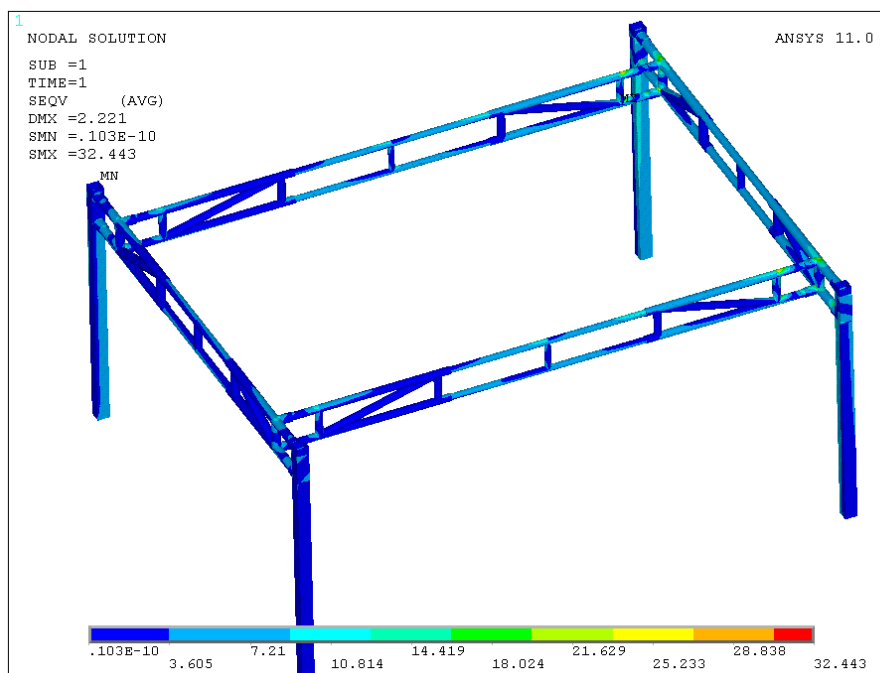
7. Analýza napjatostí

Měřicí systémy jsou v obou případech navrženy tak, že součásti nesou celou hmotnost vozidla, tudíž jsou značně namáhány. Aby bylo zaručeno, že součásti vydrží dané namáhání, byla provedena kontrola napjatostí nejvíce namáhaných dílů. Ke kontrole byl využit výpočetní program ANSYS používající metodu konečných prvků. Modely, na nichž byly výpočty prováděny, byly importovány z programu CATIA V5.

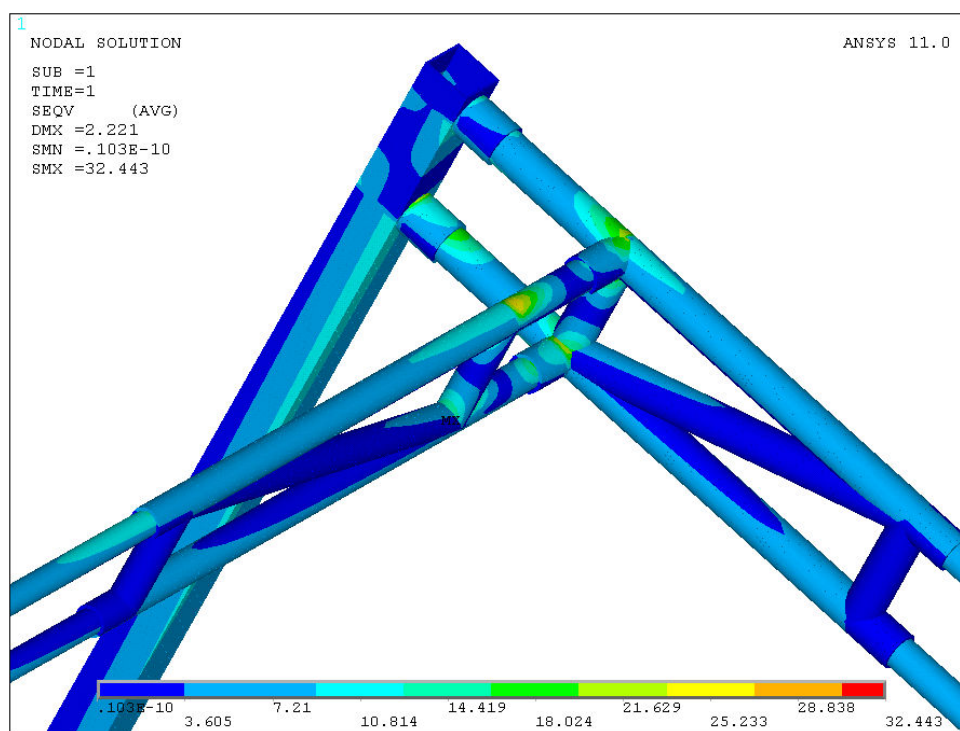
Pro výpočet byl téměř u všech součástí vyžit prvek SOLID187, tento objemový prvek je tvaru čtyřstěnu s deseti uzly, je zvláště vhodný pro síťování součástí vytvořených v CAD systémech. Pro výpočet složeného rámu závěsného systému byl využit BEAM189, což je prutový prvek s třemi uzly, definovaným tvarem příčného průřezu a definovanými rozměry příčného průřezu. Tento prvek byl použit, jelikož při síťování objemovými prvky by byl celkový počet uzlů obrovský a výpočet takřka neproveditelný. Při síťování součástí byla velikost prvku určena dle velikosti a složitosti součástky. U malých děl, složitějších tvarů a více namáhaných oblastech byla síť záměrně zhuštěna, síťování bylo provedeno volně. Zjednodušením modelů některých součástí bylo dosaženo zjednodušení a zrychlení výpočtu, zejména byly odebrány některé nenamáhané vnitřní i vnější závity. Výsledkem analýz součástí je redukované napětí (von-Mises) a celková deformace. Výsledky pro redukovaná napětí jsou uváděny v MPa, deformace v mm.

7.1. Analýza rámu

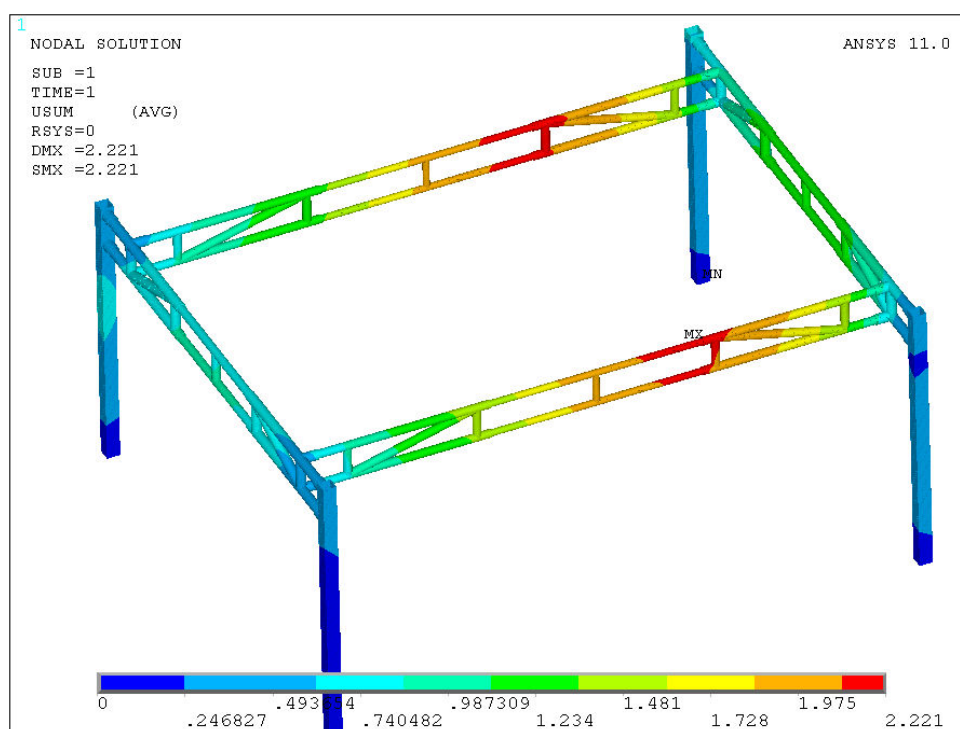
Výpočet byl proveden na modelu složeného rámu, jenž byl nastaven na maximální šířku i maximální délku, zatížen byl silami odpovídající maximální nosnosti. Ač je prutový model zjednodušující, umožňuje zjistit celkovou deformaci rámu, což by u výpočtu samostatných dílů rámu nebylo možné. Rám je zatížen v místech pro přivaření přírub navijáků, vpředu působí na každé straně zatížení 1471 N (150 kg), vzadu 3433 N (350 kg) taktéž na každé straně. Zamezení pohybu je nastaveno pouze na spodních stranách noh, rám je tedy pevně spojený s pomyslnou podlahou.



Obr. 7.1 Redukované napětí v rámu



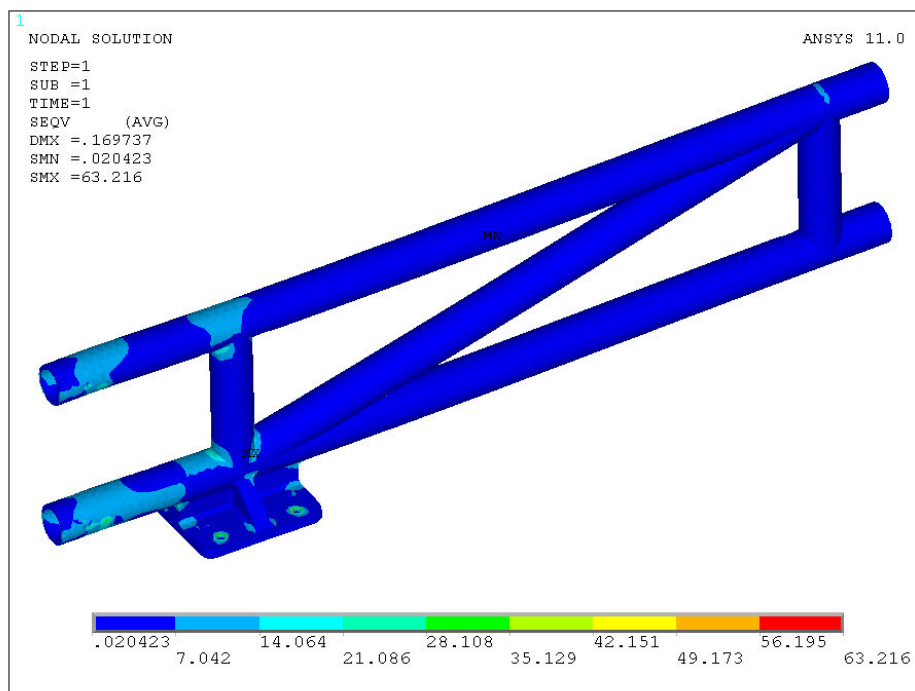
Obr. 7.2 Detailní pohled na oblast rámu s největším redukovaným napětím



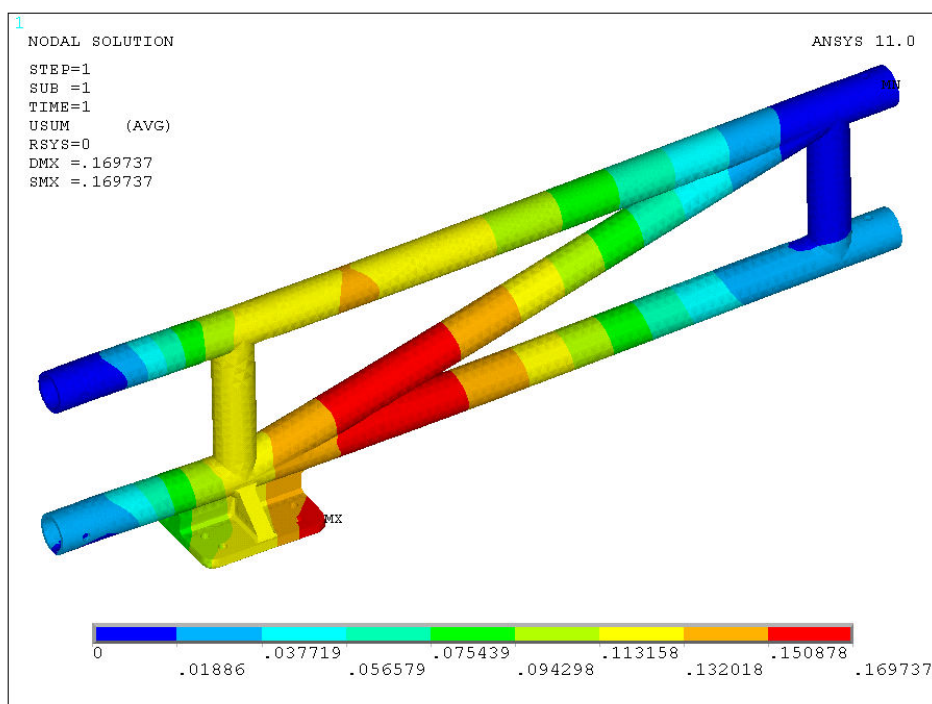
Obr. 7.3 Deformace rámu

Dle výsledku analýzy je maximální deformace ve spoji podélného nosníku a posuvného dílu, v místech uchycení navijáků je celková deformace menší než 1,5 mm. Přestože se rám počítal jako celek, byl podélný nosník spočítán navíc v samostatném výpočtu. Jelikož zjednodušený model rámu neobsahoval přírubu pro připevnění navijáku, bylo v samostatném

výpočtu nosníku zkontrolováno, zda je navržené připevnění příruby k trubce nosníku správně dimenzováno. Pro výpočet byly použity objemové prvky, rám byl zatížen maximální přípustnou silou a přichycen na všech svých koncích, které jsou připojeny k ostatním dílům rámu. Jelikož způsob uchycení neodpovídá skutečnému stavu při namáhání, jsou výsledky v blízkosti vazeb nevěrohodné, avšak kontrola napjatosti a deformace v přírubě a zbylých částech nosníku je již pro kontrolu dostatečné důvěryhodná.



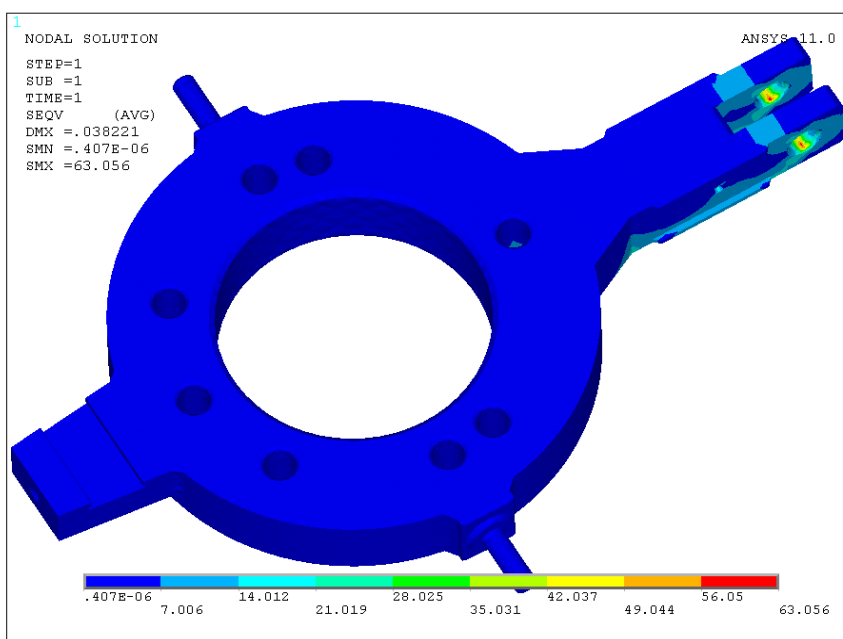
Obr. 7.4 Redukované napětí podélného nosníku s přírubou pro naviják



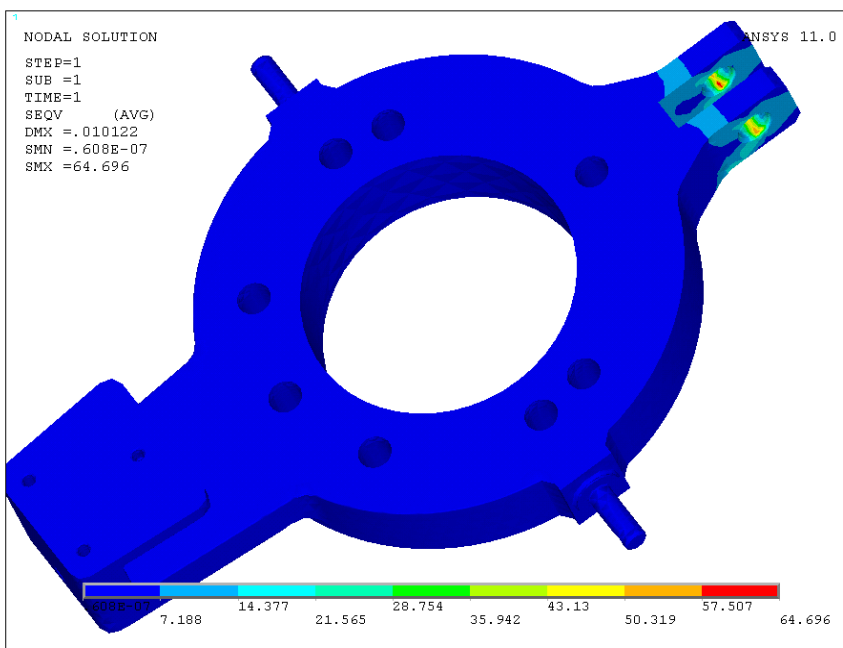
Obr. 7.5 Deformace podélného nosníku s přírubou pro naviják

7.2. Analýza měřících hlavice

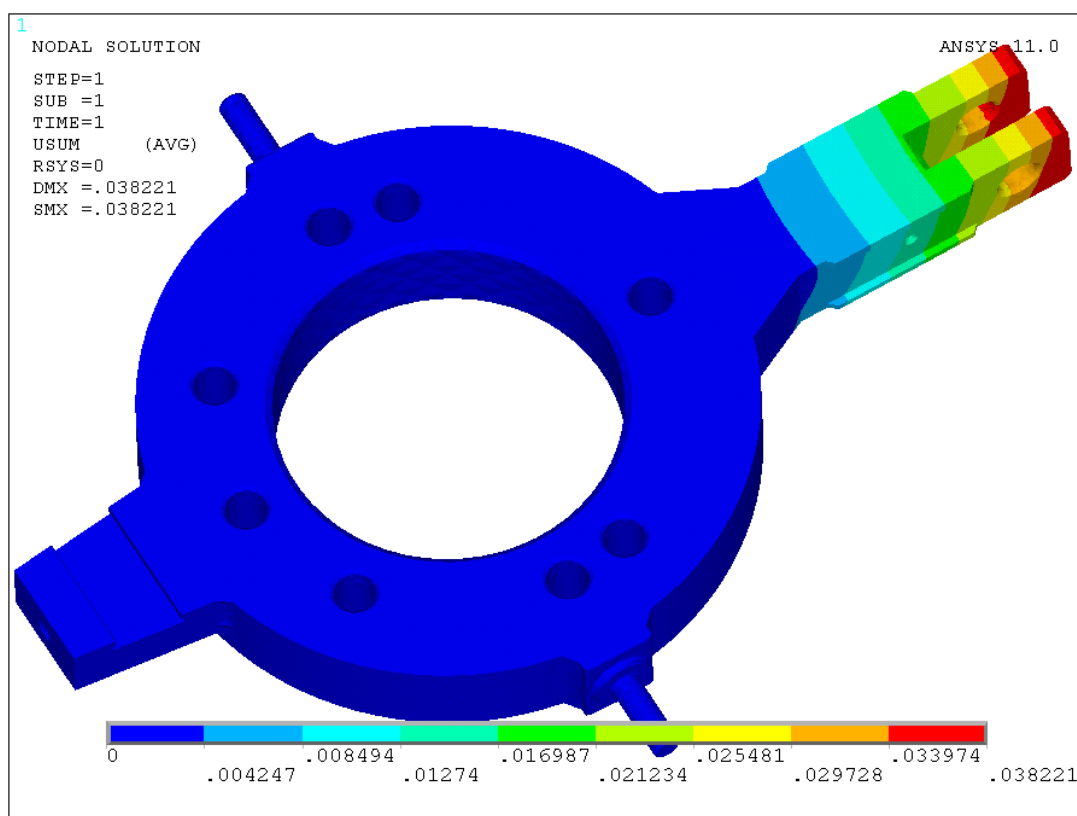
Kontrola napjatostí byla provedena u obou měřících hlavice (varianty A i B), obě byly uchyceny a zatíženy stejným způsobem. Hlavice byla uchycena v otvorech pro šrouby, jimiž se přišroubovává hlavice k adaptéru, síly v dírách pro lícovaný šroub zatěžovaly hlavici na tah, celková velikost působících sil byla 3433 N. Model byl natočen do polohy simulující odklon -5° . Maximální redukované napětí v obou variantách je téměř stejné, návrhy se liší jen v deformacích. Kvůli větší vzdálenosti mezi připojovacími dírami a dírou pro uchycení oka a většímu ohybovému momentu, dochází u varianty A k větší deformaci.



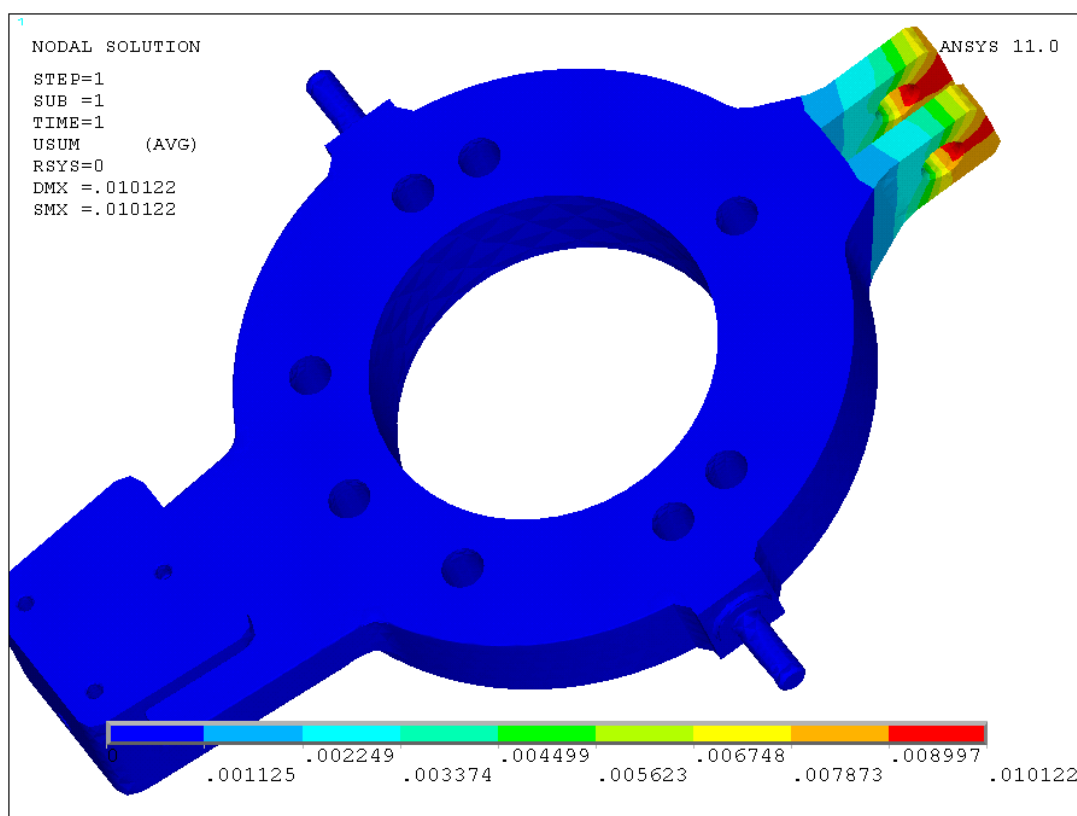
Obr. 7.6 Redukované napětí měřící hlavice- varianta A



Obr. 7.7 Redukované napětí měřící hlavice- varianta B



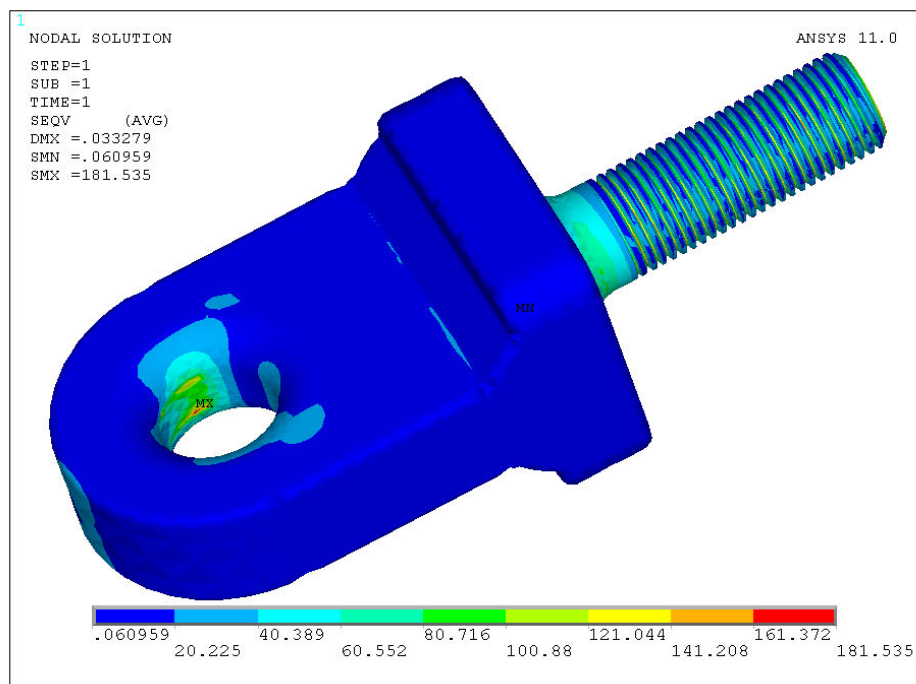
Obr. 7.8 Deformace měřicí hlavice- varianta A



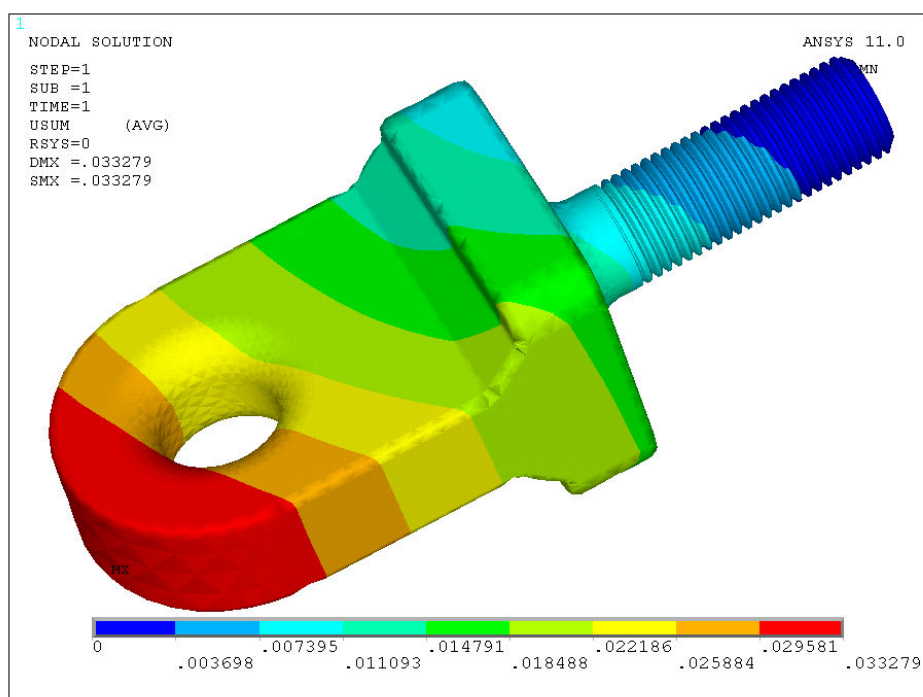
Obr. 7.9 Deformace měřicí hlavice- varianta B

7.3. Analýza závěsného oka

Závěsné oko je drobná součást, která přenáší přes závit M10 na další součásti maximální zatížení 350kg, proto je navržena z kvalitní konstrukční oceli. Závit má významný vliv na namáhání součásti, z tohoto důvodu byl přenesen i do výpočtového modelu. Při výpočtu bylo oko uchyceno v závitové části a tahově namáháno silami působícími v díře oka.



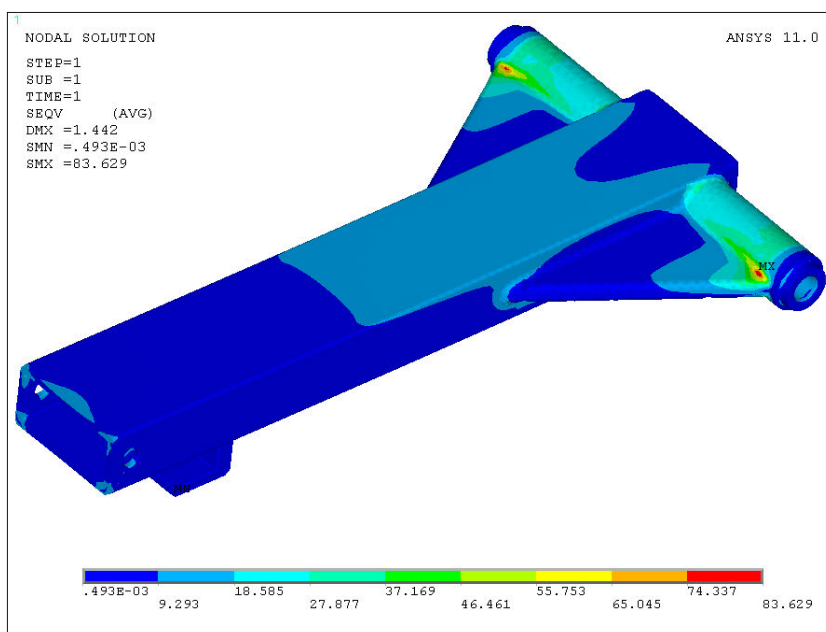
Obr. 7.10 Redukované napětí v závěsném oku



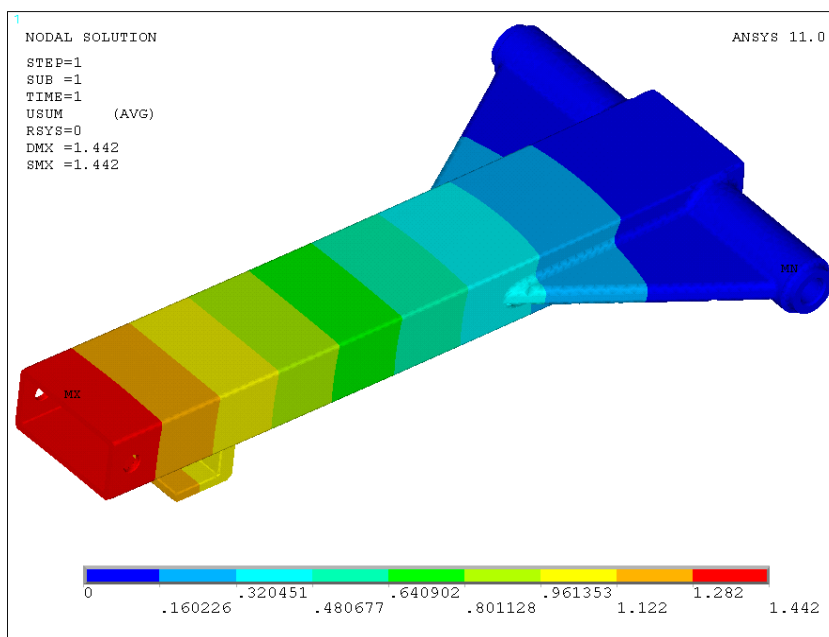
Obr. 7.11 Deformace v závěsném oku

7.4. Analýza podpěrné nohy

Oproti dílům závěsného systému je podpěrný systém dimenzován na větší hmotnosti vozidla, maximální nosnost jedné nohy je 375 kg, pomocí tohoto podpěrného systému je tedy možné měřit geometrii u automobilů až do hmotnosti 1500 kg. Výpočtový model podpěrné nohy byl uchycen v závitových dírách pro osy koleček a tlakové síly o celkové sumě 3679 N (375 kg) působily na horní plochu, kde dosedá nasunutý adapter. Noha byla natočena do polohy odpovídající odklonu kola -5° . Dle výpočtu největší namáhání vzniká v místě přechodu výstužných žebër do osazení pro našroubování osy kolečka.



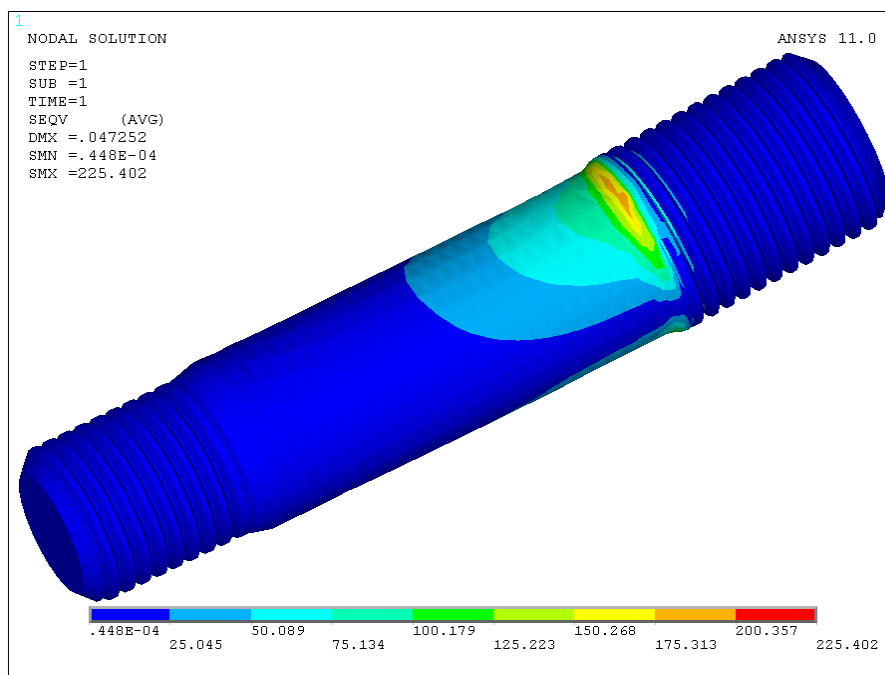
Obr. 7.12 Redukované napětí v podpěrné noze



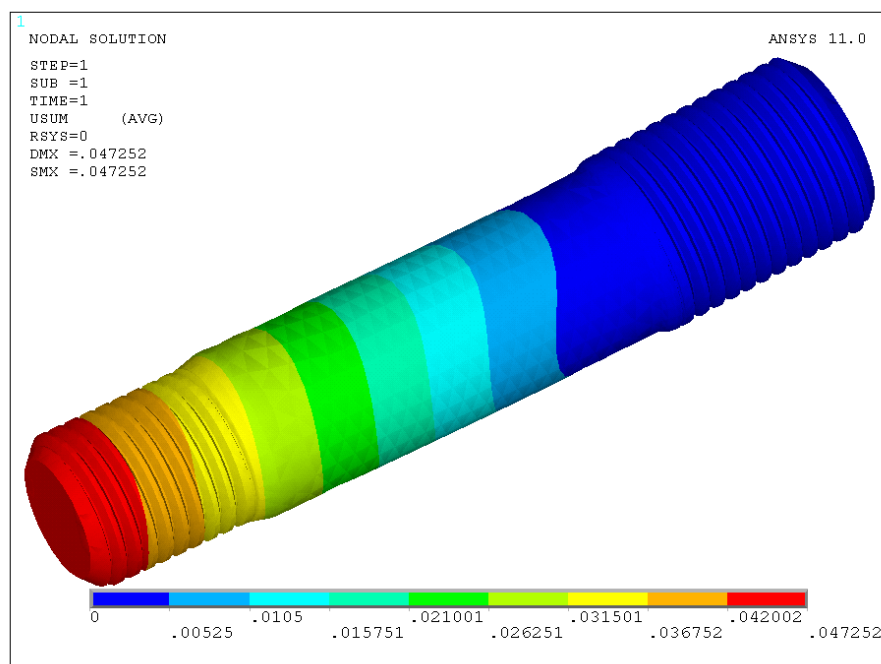
Obr. 7.13 Deformace v podpěrné noze

7.5. Analýza osy kolečka

Nejvíce namáhaná součást ze všech je osa kolečka, důvodem jsou vysoká zatížení působící na velkém rameni, vzniká tedy velký ohybový moment namáhající součást relativně malého průřezu. Větší závit modelu byl při výpočtu fixován vazbami a síly byly rozloženy po délce dříku, jejich suma byla 1840 N. Pochopitelně nejvíce namáhanou částí je přechod mezi větším závitem a dříkem pro nasunutí kolečka.



Obr. 7.14 Redukované napětí v ose kolečka



Obr. 7.15 Deformace v ose kolečka

7.6. Shrnutí výsledků

Výpočty bylo ověřeno, že žádná součást nepřekračuje mezní stav pružnosti, tudíž všechny navržené součásti jsou vyhovující. V **tab.7.1** jsou porovnány bezpečnosti jednotlivých součástí. Bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti k_p je definována, jako podíl meze kluzu navrženého materiálu a maximálního redukovaného napětí součásti.

Z výsledků vyplývá, že nejnamáhavější součástí je osa kolečka, největší deformace vznikají u sestaveného rámu. Varianta měřicí hlavice A disponuje proti variantě B nižší tuhostí, ale má nepatrně menší maximální redukované napětí. Výpočet bezpečnosti pouze potvrzuje již zmiňovaný vyhovující stav všech počítaných součástí.

Součást	Max. deformace [mm]	Max. red. napětí [MPa]	Mez kluzu [MPa]	Bezpečnost [-]
Rám	2,22	32,4	195	6,01
Podélný nosník	0,17	63,2	195	3,09
Hlavice A	0,04	63,1	195	3,09
Hlavice B	0,01	64,7	195	3,01
Závěsné oko	0,03	181,5	275	1,51
Podpěrná noha	1,44	83,6	195	2,33
Osa kolečka	0,05	225,4	320	1,42

Tab. 7.1 Přehled výsledků analýz napjatostí

8. Rozbor chyb měření

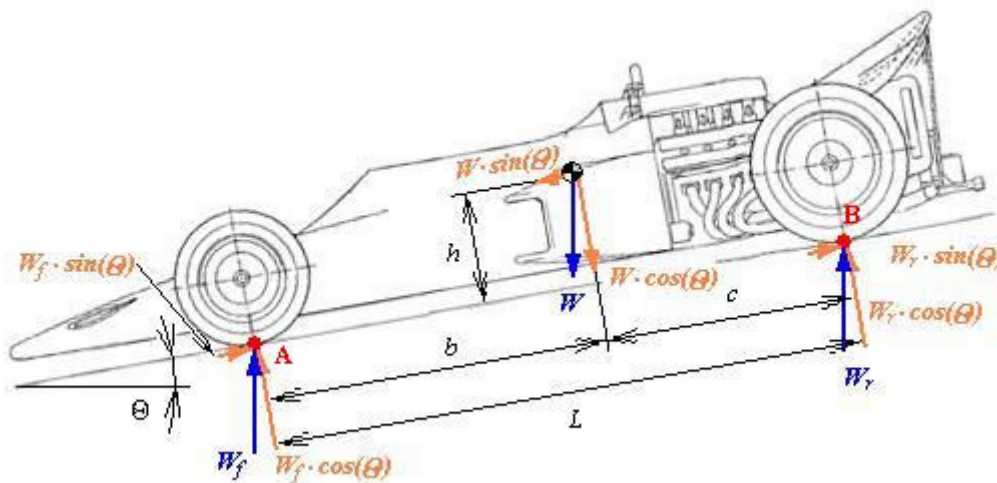
Během měření parametrů geometrie mohou vznikat nepřesnosti, zjištěné hodnoty se odchyľují od těch skutečných. Aby byly tyto chyby minimalizovány, je nutné zjistit z čeho vznikají, a jak moc hodnotu daného parametru zkresľují.

Chyby vznikají již u samotných měřicích přístrojů, jejichž přesnost je určena výrobcem. Pro dosažení kvalitních výsledků je potřeba zvolit měřicí přístroje s vysokou přesností. Při výběru vhodného přístroje je však potřeba brát v úvahu skutečnost, že po překročení určité hranice již zpřesňování výsledků nepřináší žádnou výhodu a navíc klesá opakovatelnost měření.

Nesprávné seřizení a zarovnání prvků měřicí skupiny je příčinou vzniku druhé skupiny chyb. Tyto nepřesnosti jsou přímo závislé na obsluze měřicího systému, proto je jim věnována v práci větší pozornost. Každý vliv je rozebrán samostatně, nicméně při skutečném měření mohou nastat všechny současně. Na vysvětlujících obrázcích jsou pro názornost jednotlivé nepřesnosti zvětšeny, v reálu dosahují úhlové nepřesnosti maximálně řádů stupňů a délkové milimetrů.

8.1. Přesun zatížení u vozidla neseřizeného do roviny

Před zjišťováním hodnot geometrie je nezbytností zarovnat vozidlo do vodorovné polohy. U závěsného systému se toho dosahuje liniovým laserem svítícím na všechny terčiky našroubované v měřicích hlavicích, samotná výška se doladí korekční maticí. U podpěrného systému se do roviny zarovnávají nivelační podložky s váhami taktéž pomocí liniového laseru a terčiků. Pokud by k zarovnání nedošlo, pak dochází k přesunu hmotnosti vozu a zkreslení hodnot zatížení jednotlivých kol.



Obr. 8.1 Určení rozložení hmotnosti při naklonění automobilu

Na **obr. 8.1** je vozidlo o hmotnosti W v podélné naklonění o úhel θ vůči vodorovné poloze a s vyznačeným silovým působením. Z momentové rovnováhy pro bod A (8.1) a pro bod B (8.2) vyplývá zatížení zadní nápravy W_r a zatížení přední nápravy W_f . (Obrázek 8.1 znázorňuje měření vozidla s koly, kde síly působí na střed styku kola s podložkou. U závěsného i podpěrného systému nebude působíště ve styku kola s podložkou, ale v ose kola. Tím se sníží nejen velikost h , ale i samotný vliv naklonění a naklonění na přesun hmotnosti.)

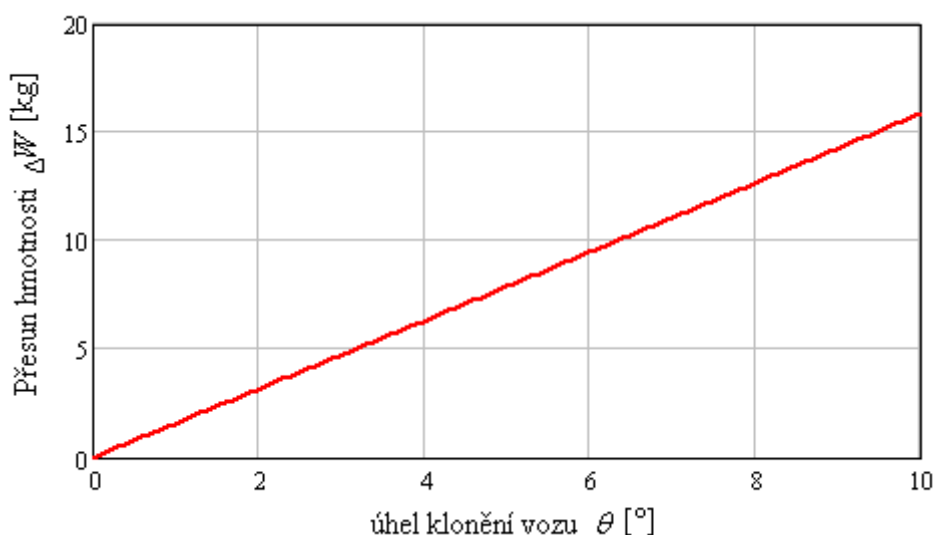
$$0 = W \cdot \cos(\theta) \cdot b - W \cdot \sin(\theta) \cdot h - W_r \cdot \cos(\theta) \cdot L \quad (8.1)$$

$$0 = W \cdot \sin(\theta) \cdot h + W \cdot \cos(\theta) \cdot c - W_f \cdot \cos(\theta) \cdot L \quad (8.2)$$

$$W_r = W \cdot \frac{b}{L} - W \cdot \frac{h}{L} \cdot \tan(\theta) \quad (8.3)$$

$$W_f = W \cdot \frac{c}{L} + W \cdot \frac{h}{L} \cdot \tan(\theta) \quad (8.4)$$

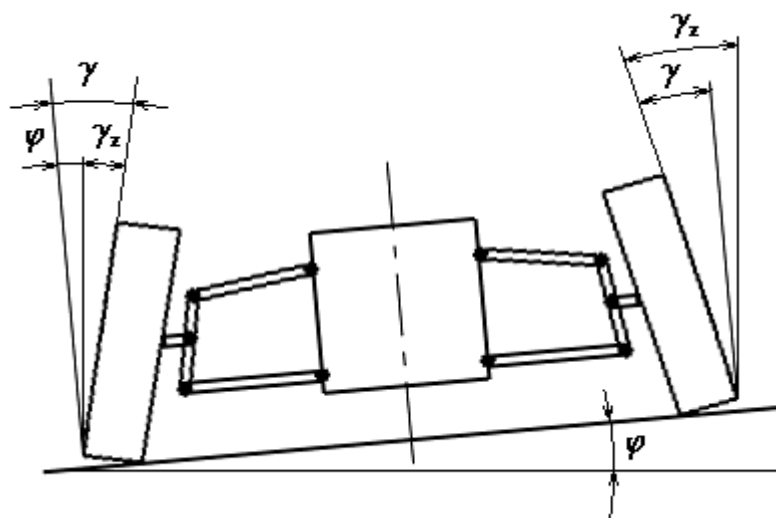
První člen rovnic 8.3 a 8.4 tvoří statické zatížení nápravy ve vodorovné poloze, druhý člen vyjadřuje množství přesunutě hmotnosti z jedné nápravy na druhou. Stejně rovnice lze analogicky použít i u příčného přesunu zatížení, pouze rozvor náprav L je potřeba nahradit rozchodem kol. **Obr. 8.2** ukazuje závislost množství přeneseného zatížení na úhlu naklonění vozidla. Vychází z něj, že při parametrech vozu: hmotnost 750 kg, výšková poloha těžiště vůči působišti sil $h = 300$ mm a rozvor 2500 mm, vzniká přesun hmotnosti asi 1,6 kg na stupeň naklonění.



Obr. 8.2 Množství přesunutého zatížení pro daný úhel klonění

8.2. Změna odklonu při naklonění

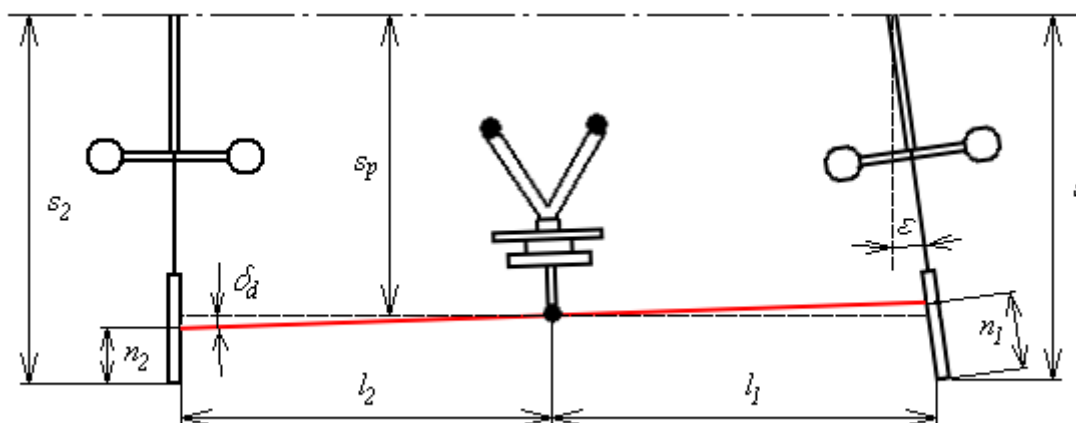
V předchozím odstavci je popsán nepříznivý vliv nezarovnaného vozidla na měření zatížení kol. Pokud není vozidlo správně zarovnáno do vodorovné polohy, pak dochází nejen k chybnému změření zatížení kol, ale i ke zkreslování naměřených hodnot odklonů kol. Ke změření chybné hodnoty odklonu dochází pouze při naklonění vozidla. Úhel φ , o který je vozidlo nakloněno, se na jedné straně od odklonu přičítá, a na straně druhé odečítá (**obr. 8.3**). Změřené hodnoty odklonu γ_z tedy neodpovídají nastaveným hodnotám γ . Tento hypotetický předpoklad platí pouze, pokud by bylo zavěšení dostatečně tuhé a nedocházelo ke stlačení pružin při daném přesunu hmotnosti. Nicméně i když v reálu dochází ke změně polohy zavěšení a ke stlačení pružin, stále naměřené hodnoty neodpovídají skutečnému stavu. Rozdílem je, že nedochází ke změně přičtením nebo odečtením úhlu naklonění, ale vytváří se obecná odchylka jiné hodnoty.



Obr. 8.3 Vznik chyby měření odklonu při naklopení vozidla

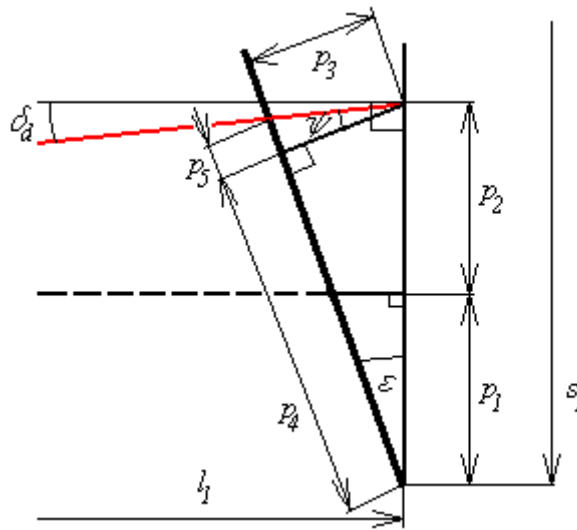
8.3. Natočení projekčních ploch

Přesnost změření sbíhavosti závisí mimo jiné hlavně na správném seřízení a zarovnání stojanů pro projekční plochy, prvně bude rozebrán vliv natočení projekčních ploch z kolmé polohy. Při natočení stojanu s projekčními plochami dochází ke změně vzdálenosti mezi vnější hranu projekční plochy a obrazem laseru. Jelikož se tyto vzdálenosti užívají pro výpočet hodnoty sbíhavosti, vzniká natočením stojanů určitá nepřesnost.



Obr. 8.4 Chyba měření při natočení projekční plochy

Obr. 8.4 schematicky zobrazuje dopad paprsku na správně zarovnanou plochu za nápravou a na plochu natočenou o úhel ε z kolmého směru. Hrany ploch, ke kterým se měří vzdálenosti obrazů paprsků od hran projekčních ploch n_1 a n_2 , leží od středu měřící hlavice ve vzdálenostech l_1 a l_2 . Ke zjištění hodnoty n_1 při natočení se využijí výpočty pomocných úseček p_1 až p_5 (obr. 8.5). Ze znalosti polohy projekčních ploch a znalosti dané hodnoty sbíhavosti δ_d , lze za pomoci goniometrických funkcí určit závislost mezi úhlem natočení projekční plochy a změřenou sbíhavostí δ_z .



Obr.8.5 Detailní schéma sloužící pro odvození rovnic

$$n_2 = s_2 - s_p - l_2 \cdot \tan(\delta_d) \quad (8.5)$$

$$s_1(\varepsilon) = s_2 \cdot \cos(\varepsilon) \quad (8.6)$$

$$p_1(\varepsilon) = s_1(\varepsilon) - s_p \quad (8.7)$$

$$p_2(\varepsilon) = l_1 \cdot \tan(\delta_d) \quad (8.10)$$

$$p_3(\varepsilon) = (p_2(\varepsilon) + p_1(\varepsilon)) \cdot \sin(\varepsilon) \quad (8.11)$$

$$p_4(\varepsilon) = (p_2(\varepsilon) + p_1(\varepsilon)) \cdot \cos(\varepsilon) \quad (8.12)$$

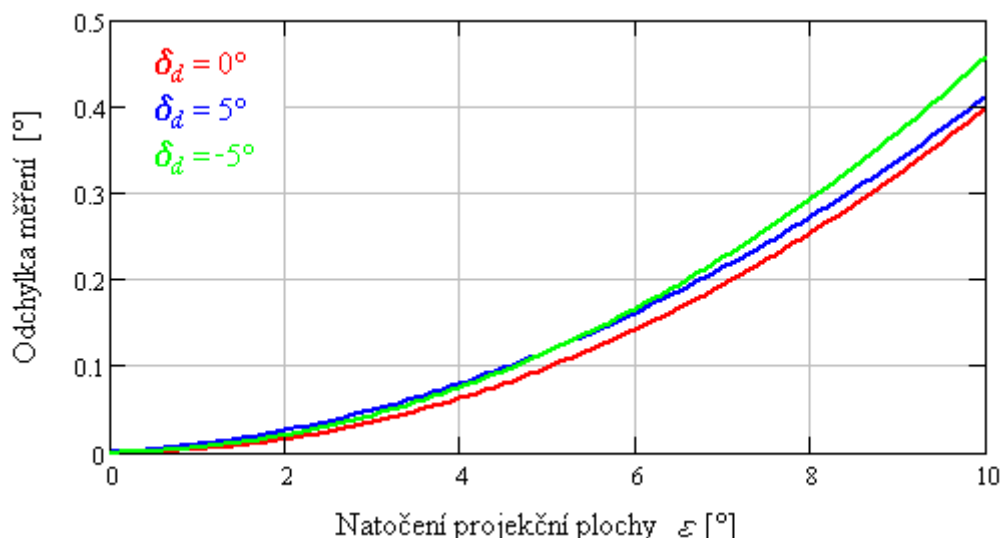
$$\psi(\varepsilon) = \varepsilon - \delta_d \quad (8.13)$$

$$p_5(\varepsilon) = p_3(\varepsilon) \cdot \tan(\psi(\varepsilon)) \quad (8.14)$$

$$n_1(\varepsilon) = p_4(\varepsilon) + p_5(\varepsilon) \quad (8.15)$$

$$\delta_z(\varepsilon) = \arctan\left(\frac{n_1(\varepsilon) - n_2}{l_1 + l_2}\right) \quad (8.16)$$

Odchylka změřené hodnoty δ_z od reálné δ_d je pak rozdíl těchto dvou hodnot. Na **obr. 8.6** je příklad odchylky měření pro různé hodnoty úhlu sbíhavosti v závislosti na úhlu natočení projekční plochy, pro zobrazení závislosti byly zvoleny následující hodnoty: rozchod 1800mm, vzdálenost hran obou ploch od zdroje 1m. Dle obrázku je zřejmé, že chyby měření se projevují i při nulové sbíhavosti.



Obr. 8.6 Závislost odchylky měření na natočení projekční plochy

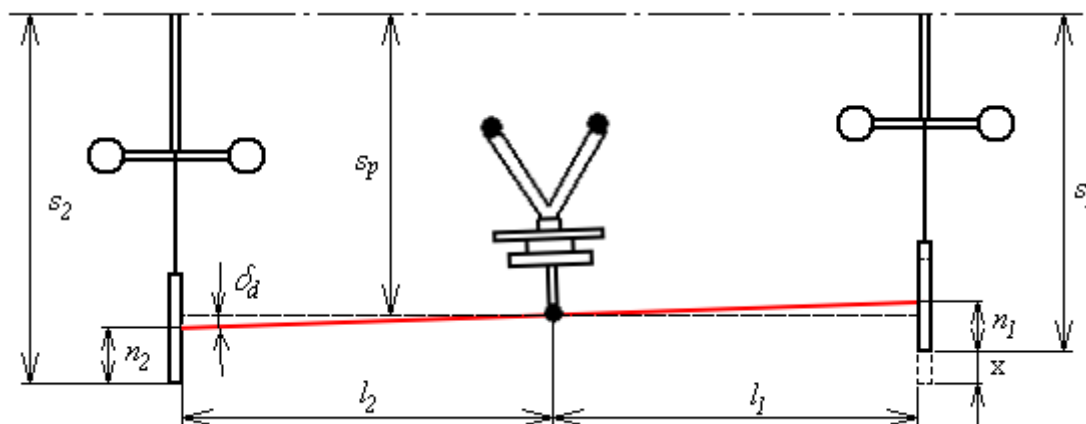
8.4. Příčný posun projekčních ploch

Druhým vlivem vnášejícím nepřesnosti do měření sbíhavosti kola je příčný posun stojanu s projekčními plochami. V tomto případě není stojan zarovnan do střední roviny vozu, dochází k prodlužování nebo zkracování vzdálenost mezi hranou projekční plochy a obrazem laseru, a tím ke zkreslování naměřené hodnoty sbíhavosti. Na **obr. 8.7** je zvýrazněn posun projekční plochy o hodnotu x , hodnotu n_2 se určí stejně jako v předchozím případě podle vzorce 8.5, závislost n_1 na posunutí se určí následujícím způsobem:

$$s_1(x) = s_2 + x \quad (8.17)$$

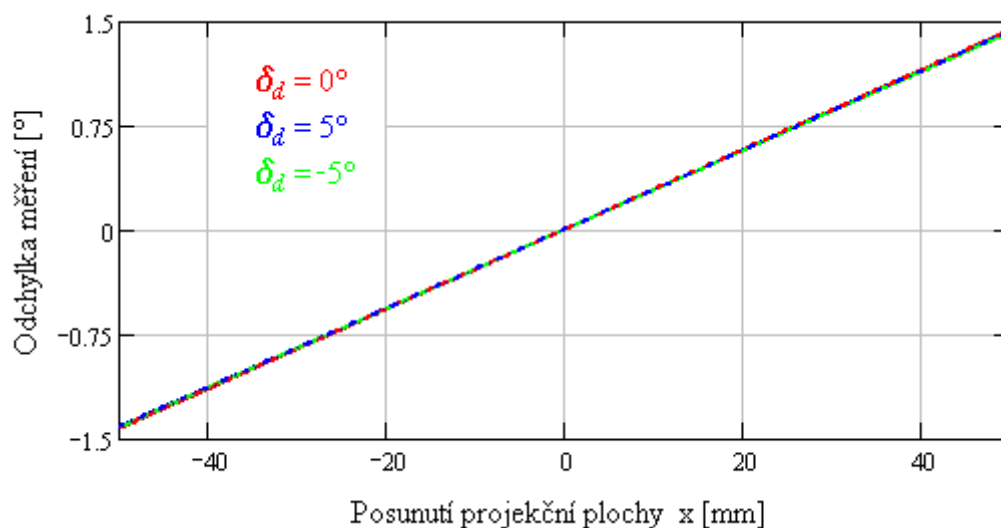
$$n_1(x) = s_1(x) - s_p - l_1 \cdot \tan(\delta_d) \quad (8.18)$$

$$\delta_z(x) = \arctan\left(\frac{n_2 - n_1(x)}{l_1 + l_2}\right) \quad (8.19)$$



Obr. 8.7 Chyba měření při posunutí projekční plochy

Graf z **obr. 8.8** ukazuje závislost odchylky měření na hodnotě posunutí projekční plochy. Hodnoty užívané pro výpočet závislosti jsou shodné s hodnotami z výpočtu závislosti odchylky na natočení plochy. Chyba měření se pro jednotlivé hodnoty sbíhavosti téměř neliší. Z porovnání těchto dvou závislostí vyplývá, že mnohem větší chyba vzniká při posunu projekční plochy, kde na vznik chyby $0,1^\circ$ postačuje posun zhruba o 3-4 mm, zatímco pro stejnou chybu měření je potřeba natočení plochy o 4° až 5° . Citlivost vzniku chyb na posunutí i natočení projekčních ploch významně klesá s rostoucími vzdálenostmi l_1 a l_2 .



Obr. 8.8 Závislost odchylky měření na posunu projekční plochy

Závěr

V diplomové práci byly navrženy dva kompletní systémy pro měření geometrie kol závodních automobilů v závodních boxech nebo servisních zónách. Všechny navržené součásti i modely doporučeného příslušenství byly vytvořeny v programu CATIA V5.

U prvního systému je vozidlo přes lana zavěšeno na nosný rám, čímž se dosáhne možnosti volného pohybu kola a tím eliminaci tření snižující přesnost měření. K vozidlu jsou lana chycena přes měřicí hlavici, jenž nese měřicí přístroje. Sbíhavost se měří laserovým paprskem dopadajícím na laserové plochy, odklon kol a záklon rejdové osy pak volitelným sklonoměrem. Na lanech jsou připevněny tahové tenzometrické snímače měřící zatížení jednotlivých kol vozidla. Lze měřit vozidla o hmotnosti do 1000 kg, s rozchodem kol 1400 až 2200 mm a rozvorem 1800 až 3000 mm.

Druhý navržený systém využívá k minimalizaci tření podpěrné nohy s kolečky, jenž jsou našroubovány místo pneumatik. Nosnost každé nohy je 375 kg, čili měřit lze vozidla až do hmotnosti 1500 kg. Měřicí přístroje jsou připevněny k podpěrným nohám. Sbíhavost a odklon kol se měří stejným způsobem jako u prvního systému, zatížení kol se zjišťuje plošinovými váhami, na nichž jsou podpěrné nohy postaveny. Plošinová váha s nivelační podložkou zároveň slouží pro zarovnání vozidla do vodorovné polohy.

Každé řešení má své nedostatky a své přednosti. Výhodami závěsného systému je možnost zvednout vozidlo do libovolné výšky a snadné zarovnání do vodorovné polohy. Velká rozměrnost, náročnější a pomalejší příprava tvoří nevýhody závěsného systému. Podpěrný systém je kompaktnější, má rychlejší přípravu a je možné měřit vozidlo libovolných rozvorů a rozchodů. Navíc není třeba kompenzovat rozdílné rozchody kol širšími adaptéry. Nevýhodou je, že vozidlo nelze zvednout do libovolné výšky, a navíc po odsunutí plošin a jejich vrácení se musí opět před měření zkontrolovat, popřípadě znovu nastavit, celková vodorovná měřicí rovina. Společnými výhodami jsou univerzálnost použití, vysoká přesnost měření a zjišťování hodnot geometrie na zatížených nápravách.

Přestože jsou oba systémy navrženy jako univerzální, závěsný systém je určen spíše pro nekarosované automobily. Pro použití u karosovaných vozidel by bylo nutností užít širší adaptéry, aby závěsná lana mohla obejít blatníky. Ovšem užitím širších adaptérů se mění silové poměry působící na nápravu a dochází k většímu propružení, a tím ke zkreslování měřených hodnot. Podpěrným systémem lze měřit oba typy závodních vozidel.

Spolehlivý a bezpečný provoz měřících systémů je zaručen analýzou napjatostí navržených dílů. Kontrola napjatostí byla provedena výpočtovým programem ANSYS. Z výsledků výpočtů vyplývá, že všechny více namáhané, navržené součásti nepřekračují mezní stav pružnosti.

Poslední část práce tvoří rozbor chyb měření. Kromě chyb daných přesností měřících přístrojů vznikají chyby hlavně v přípravě vozu na měření. Zejména pak špatné zarovnání stojanů s projekčními plochami a nesprávné zarovnání vozidla do vodorovné polohy vnáší do naměřených hodnot citelné chyby. Je možné se těchto chyb vyvarovat správnou a pečlivou přípravou celé měřicí aparatury. Tyto chyby jsou společné nejen pro oba navržené systémy, ale platí pro veškeré systémy k měření geometrie kol.

Seznam použitých zdrojů

- [1] REIMPELL, Jörnsen, STOLL, Helmut, BETZLER, Jürgen W. *The Automotive Chassis: Engineering Principles*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. 456 s. ISBN 0 7506 5054 0.
- [2] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. Brno: vlastním nákladem, 2006. 464 s. ISBN 80-239-6464-X
- [3] *Tire tech information - Alignment*, [cit. 2008-12-12]
URL: <<http://www.tirerack.com/tires/tiretech/techpage.jsp?techid=4>>
- [4] ČSN 30 0034. *Směrová dynamika vozidel*. Praha : Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1982.
- [5] HAGERMAN, John. *Pointed the Right Way*. Grassroots Motorsports magazine [online], [cit. 2008-12-12]
- [6] *4-Wheel Computer Alignments*, [cit. 2009-01-19]
URL: <<http://phantasmnc.com/Services/alignments/alignment.htm>>
- [7] *Wheel options for the MGF*, 14.1.2009 [cit. 2009-01-19]
URL: <<http://www.mgf.ultimatemg.com> >
- [8] *Race Car Suspension Set-Up*, [cit. 2009-01-20]
URL: <<http://www.smithees-racetechnology.com.au/ackerman.html>>
- [9] VLK, František. *Diagnostika motorových vozidel*. Brno: vlastním nákladem, 2006. 444 s. ISBN 80-239-7064-X
- [10] VÉMOLA, Aleš. *Diagnostika automobilů I*. Brno: Nakladatelství Littera, 2006. 128 s. ISBN 80-85763-31-1
- [11] *Koch Achsmessanlagen*, [cit. 2009-01-24]
URL: <<http://www.koch-achsmessanlagen.de>>
- [12] *Advanced Racing Technologies, Inc.*, [cit. 2009-01-29]
URL: <<http://www.advancedracing.com/index1.php>>
- [13] *Smart Racing Products, Alignment Tools for All Cars*, [cit. 2009-01-29]
URL: <<http://www.smartracingproducts.com/alignment.htm>>
- [14] *Speedway Motors*, [cit. 2009-01-29]
URL: <<http://www.speedwaymotors.com/TOE-GAUGE,241.html>>
- [15] *Arsenal Pro Racing*, [cit. 2009-01-29]
URL: <<http://www.arsenalracing.com/product-p/6880.00.01.bl.htm>>

- [16] *Dunlop Garage Equipment*, [cit. 2009-01-29]
URL: <<http://www.dunlopge.co.uk/>>
- [17] *MK Technologies - Race Support Equipment*, [cit. 2009-01-29]
URL: <<http://www.mktechnologies.com/products/products.htm>>
- [18] *Longacre Racing Products, Inc.*, [cit. 2009-02-06]
URL: <<http://www.longacreracing.com/catalog/index.asp>>
- [19] HEJTMÁNEK, Petr. *Nastavení podvozku závodních automobilů*. Brno: VUT-FSI, 2007.
26 s. Bakalářská práce.
- [20] *Feropol s.r.o.*, [cit. 2009-03-25]
URL: <<http://www.feropol.cz/mode.php?mod=html&record=1>>
- [21] *Sitall Electronic*, [cit. 2009-03-02]
URL: <<http://www.sitall.cz/produkty.php?kategorie=1042&sekce=1038>>
- [22] *Petr Provazník – Čárové lasery*, [cit. 2009-03-15]
URL: <<http://www.carove-lasery.cz/>>
- [23] *Laserové vodováhy*, [cit. 2009-03-20]
URL: <<http://www.lasery.cz/vodovahy.htm>>
- [24] *MakroNet*, [cit. 2009-03-12]
URL: <<http://www.makronet.cz/zbozi/5070/zbozi.html.htm>>
- [25] *Kalibrační centrum*, [cit. 2009-03-25]
URL: <<http://www.kalibracnicentrum.cz>>
- [26] *Pavlínek s.r.o. - vázací prostředky*, [cit. 2009-03-16]
URL: <<http://www.vazaky-online.cz>>
- [27] *Navrátil - pojezdová kolečka, kola, kladky*, [cit. 2009-04-02]
URL: <<http://www.navratilsro.cz/adinyl-soft-j-adinyl-soft-c/>>
- [28] *IP Racing - Shop*, [cit. 2009-04-09]
URL: <<http://shop.ipracingshop.com>>
- [29] *PAP & spol., Laserové a optické měřicí přístroje a příslušenství*, [cit. 2009-04-02]
URL: <<http://www.papaspol.cz/>>
- [30] *GEVAP, spol. s.r.o.*, [cit. 2009-05-19]
URL: <<http://eshop.geovap.cz>>
- [31] *STABILA - výrobce profesionálních měřidel*, [cit. 2009-05-19]
URL: <<http://www.stabila.cz/>>

[32] *ELTY, s.r.o. , Měřicí, nivelační a optické přístroje*, [cit. 2009-01-20]

URL: < <http://www.elty.cz/> >

[33] *LESÁK-ZEMÁNEK, s.r.o., Váhy* , [cit. 2009-03-23]

URL: <<http://vahy.lesak-zeman.cz/> >

[34] *COME-UP Inc.*, [cit. 2009-04-08]

URL: <<http://www.comeupwinch.com/en/>>

Seznam použitých symbolů a zkratek

b	[mm]	podélná vzdálenost osy přední nápravy od těžiště
c	[mm]	podélná vzdálenost osy zadní nápravy od těžiště
h	[mm]	výška těžiště automobilu
k_p	[-]	bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti
L	[mm]	rozvor náprav
l	[mm]	vzdálenost mezi dvě projekčními plochami
l_1	[mm]	vzdálenost hrany projekční plochy před nápravou od středu hlavice
l_2	[mm]	vzdálenost hrany projekční plochy za nápravou od středu hlavice
n_k	[mm]	závlek
n_1	[mm]	vzdálenost hrany projekční plochy před nápravou od obrazu laseru
n_2	[mm]	vzdálenost hrany projekční plochy za nápravou od obrazu laseru
p_1	[mm]	pomocný výpočtový rozměr
p_2	[mm]	pomocný výpočtový rozměr
p_3	[mm]	pomocný výpočtový rozměr
p_4	[mm]	pomocný výpočtový rozměr
p_5	[mm]	pomocný výpočtový rozměr
R_e	[MPa]	mez kluzu materiálu
R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu
r_o	[mm]	poloměr rejdu
$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu materiálu
s_1	[mm]	vzdálenost hrany projekční plochy od střední roviny vozu
s_2	[mm]	vzdálenost hrany projekční plochy od střední roviny vozu
s_p	[mm]	vzdálenost středu hlavice od střední roviny vozu
W	[kg]	hmotnost automobilu
W_f	[kg]	zatížení přední nápravy
W_r	[kg]	zatížení zadní nápravy
x	[mm]	příčný posun projekční plochy
γ	[°]	odklon kola
δ_o	[°]	sbíhavost kol
δ_d	[°]	dělená sbíhavost kola
δ_z	[°]	naměřená sbíhavost ovlivněná nepřesnostmi
ε	[°]	natočení projekční plochy
θ	[°]	naklonění automobilu
λ	[°]	pomocný úhel
σ	[°]	příklon rejdové osy
τ	[°]	záklon rejdové osy