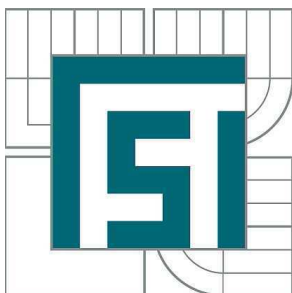


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MĚŘENÍ GEOMETRIE A KINEMATIKY ZAVĚŠENÍ S VYUŽITÍM OPTICKÝCH SCANNERŮ TRITOP A ATOS

WHEEL ALIGNMENT AND KINEMATIC CHARACTERISTICS MEASUREMENT WITH USE OF
OPTICAL SCANNERS TRITOP AND ATOS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN DVOŘÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ BLAŽÁK, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Dvořák

který/která studuje v **magisterském navazujícím 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:

Měření geometrie a kinematiky zavěšení s využitím optických scannerů Tritop a Atos

v anglickém jazyce:

**Wheel Alignment and Kinematic Characteristics Measurement with Use of Optical Scanners
Tritop and Atos**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

S využitím optických scannerů Tritop a Atos řešte jejich využití pro měření geometrie a kinematiky zavěšení.

Cíle diplomové práce:

1. S využitím optických scannerů dostupných na ÚADI změřte kinematické body náprav experimentálního vozidla Formule Faster Ford.
2. Ve vhodném programovém prostředí určete příslušné kinematické charakteristiky zavěšení.
3. Navrhněte vhodný postup, aby bylo možné využít optického scanneru Atos pro běžné měření geometrie kol vozidla.
4. Jednotlivé body zadání upřesní vedoucí práce.

Seznam odborné literatury:

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

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

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ondřej Blaták, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na možnost využití optických scannerů TRITOP a ATOS pro určení geometrie kol. V rešeršní části jsou popsány nejdůležitější parametry zavěšení kol a zařízení pro měření těchto parametrů. Praktická část se zabývá průběhem měření, vyhodnocením naměřených dat a určením souřadnic kinematických bodů. Následně je z těchto bodů vytvořen 3D model zavěšení přední resp. zadní nápravy, pomocí něhož jsou určeny kinematické charakteristiky a jejich průběh při zdvihu kola. V poslední části je rozebírána možnost využití optického scanneru ATOS pro běžné měření geometrie kol vozidla.

KLÍČOVÁ SLOVA

geometrie kol, kinematické body, optické scannery, lichoběžníková náprava, kinematické charakteristiky

ABSTRACT

The diploma thesis is focused to possibility utilizing of optical scanners TRITOP and ATOS for set up geometry of wheels. In background research are described the most important parameters of wheel suspension and devices for measuring these parameters. Practical part is concerned with progression of measurement, results and with determination coordinates of kinematic points. These points are made 3D model of forward and backward suspension wheels. This model helps to make kinematic characteristics and its progression due to attitude of wheel. In last part is described possibility to utilizing of optical scanner ATOS to common measurement of geometry wheels.

KEYWORDS

geometry wheels, kinematic points, optical scanners, short long arms suspension, kinematic characteristics



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁK, M. *Měření geometrie a kinematiky zavěšen s využitím optických scannerů Tritop a Atos*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 80 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ondřej Blatňák, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 10. května 2012

.....

Martin Dvořák



PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Ondřejovi Blatňákovi, Ph.D. za cenné rady a odbornou pomoc při vypracování této diplomové práce.



OBSAH

Úvod	9
1 Zavěšení kol.....	10
1.1 Funkce zavěšení kol.....	11
1.2 Konstrukční požadavky	11
2 Geometrie řízení a její parametry	12
2.1 Odklon kola.....	12
2.1.1 Pozitivní odklon.....	13
2.1.2 Negativní odklon	13
2.2 Příklon rejdové osy	13
2.3 Poloměr rejdu.....	14
2.3.1 Pozitivní poloměr rejdu	15
2.3.2 Negativní poloměr rejdu.....	15
2.3.3 Nulový poloměr rejdu.....	15
2.4 Záklon rejdové osy.....	15
2.4.1 Pozitivní záklon	16
2.4.2 Negativní záklon.....	16
2.5 Sbíhavost.....	16
2.6 Střed klopení a klonění karoserie.....	17
2.7 Diferenční úhel	19
3 Zařízení k měření geometrie.....	21
3.1 Mechanická měřidla.....	21
3.2 Optické přístroje	22
3.3 Elektronické přístroje.....	23
4 Měření kinematických bodů Formule Faster Ford	26
4.1 Zařízení TRITOP	26
4.1.1 Průběh měření.....	27
4.1.2 Hardware	28
4.1.3 Skenování vozidla	30
4.1.4 Zpracování naměřených dat.....	33
4.1.5 Zhodnocení výsledků měření.....	36
4.2 Zařízení ATOS.....	37
4.2.1 Průběh měření.....	38
4.2.2 Hardware	39
4.2.3 Skenování náprav	40
4.2.4 Zpracování naměřených dat.....	43



4.2.5	Zhodnocení výsledků měření.....	44
4.3	Určení souřadnic kinematických bodů v softwaru GOM Inspect.....	45
4.3.1	Postup při určování kinematických bodů	45
4.3.2	Kinematické body přední a zadní nápravy	47
4.3.3	Zhodnocení výsledků měření.....	49
5	Určení kinematických charakteristik	52
5.1	Software MSC Adams	52
5.2	Vytvoření 3D modelu náprav v prostředí MSC Adams/View.....	53
5.2.1	Sestavení modelu jednotlivých náprav	53
5.2.2	Určení jednotlivých kinematických charakteristik	56
5.2.3	Zhodnocení výsledků měření.....	58
6	Využití scanneru ATOS při běžném měření geometrie	70
6.1	Zařízení WAB 02 CCT Nussbaum	71
6.1.1	Jednotlivé komponenty měřicího systému	71
6.1.2	Princip měření – Colour Coded Triangulation (CCT).....	72
6.1.3	Průběh měření.....	73
6.1.4	Výhody zařízení WAB 02 CCT Nussbaum.....	75
	Závěr.....	76
	Seznam použitých zkratk a symbolů	80



ÚVOD

Vozidlo jako celek je velmi složitá soustava, která se skládá z mnoha skupin a podskupin součástí, které mezi sebou navzájem mohou, musí nebo nemusí souviset. Základním požadavkem na každé vozidlo je co nejúčinnější přenos síly od motoru na hnací kola. Toho se dosáhne mimo jiné správnou konstrukcí zavěšení hnací (resp. hnané) nápravy ke karoserii vozidla (spojení mezi karoserií a koly). Hlavní funkcí zavěšení je umožnit kolu relativní pohyb vzhledem ke karoserii a zachycovat statické (tíha karosérie, náklad) a dynamické síly (hnací, brzdové a boční síly).

K dalším nárokům patří vhodné zakomponování odpružení, tlumičů, brzd, řízení, uložení kola a již zmíněné zavěšení kola. Těmito funkčními celky je tvořena samotná náprava vozidla. Správnou konstrukcí nápravy se docílí vysoké bezpečnosti při jízdě, snadné řiditelnosti vozidla, snížení opotřebení pneumatik a pohonných hmot a komfortu pro posádku. Aby se dosáhlo splnění těchto požadavků a potřeb, je nutné znát mimo jiné i postavení kol vůči vozovce, které se nazývá geometrie kol. Na celkové chování vozidla a jízdní vlastnosti má nemalý vliv právě geometrie kol a řízení a je tedy důležité, aby se jí věnovala dostatečná pozornost.

V současné době existuje mnoho přístrojů a zařízení na měření geometrie kol, které jsou založeny na různých principech. Dříve používaná mechanická měřidla nahradila moderní optická a elektronická měřidla, které vyhodnocují naměřená data pomocí počítačových systémů. Jednou z možností, jak určit kinematické charakteristiky zavěšení a následně optimalizovat samotné zavěšení resp. geometrii kol, je využití metody reverzního inženýrství. Tato metoda spočívá v nasnímání reálných tvarů a následném přenosu do virtuálního 3D modelu. Model se zpracovává, popř. analyzuje v CAD/CAE prostředí. Výsledkem je optimalizovaný 3D model, který je již podložený skutečnou součástí. Hlavní oblastí využití reverzního inženýrství je ale především kontrola vyrobených součástí, protože dochází k neustálému nárůstu tvarově i rozměrově složitějších výrobků. Tyto součásti nelze zkontrolovat s požadovanou přesností pouze konvenčními způsoby (měřidla, šablony atd.), ale s využitím snímacích zařízení (3D optický skener + software pro zpracování dat).



1 ZAVĚŠENÍ KOL

Zavěšení kola znamená způsob připojení kola ke karoserii nebo rámu vozidla. Umožňuje svislý pohyb kola vzhledem ke karoserii, který je důležitý z hlediska propuštění (neustálý styk pneumatiky s vozovkou). Zavěšení kol se rozděluje:



Obr. 1 Tuhá náprava [3]

- **závislé (tuhá náprava)** - kola jsou pevně spojena společným nosníkem a jako jeden celek odpružena vzhledem ke karoserii; jsou konstrukčně jednodušší a méně náročné na údržbu, ale mají značnou neodpruženou hmotu a tím zhoršují kvalitu odpružení; používají se především jako zadní hnací nápravy užitkových vozidel [5]
- **nezávislé** - každé kolo je ke karoserii zavěšeno zvlášť, proto se může pohybovat nezávisle na protilehlém kole; pro přesné vedení kol se vyžaduje konstrukce jednoho nebo více závěsných ramen; tímto řešením se podstatně snižuje podíl neodpružených hmot a zvyšuje se bezpečnost jízdy; v současnosti se nejvíce používají nápravy McPherson (teleskopická vzpěra a trojúhelníkové rameno) a nápravy lichoběžníkové (dvojice trojúhelníkových ramen) – přední nápravy; náprava úhlová, kliková, víceprvková a De Dion se používají na zadní nápravy [5]

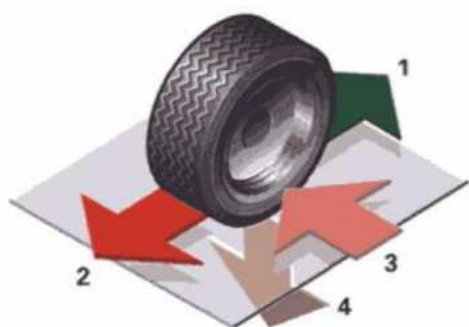


Obr. 2 Přední náprava McPherson [6]



1.1 FUNKCE ZAVĚŠENÍ KOL

- umožnit svislý relativní pohyb kola vzhledem ke karoserii vozidla
- přenášet síly mezi kolem a karoserií
- za všech okolností zajistit trvalý kontakt všech kol s vozovkou
- eliminovat nežádoucí pohyby kola (boční posuv, naklápění)
- umožnit řízení
- umožnit brzdění a zachytit brzdné síly
- umožnit přenos momentu na hnací kola
- zajistit pohodlí jízdy



- 1 - hnací síla
- 2 - brzdná síla
- 3 - boční (vodící) síla
- 4 - tíha vozidla

Obr. 3 Síly působící na kolo [7]

1.2 KONSTRUKČNÍ POŽADAVKY

- požadovaná tuhost
- minimální změna geometrie při propnutí
- minimální opotřebení pneumatik
- dlouhá životnost
- minimální požadavky na prostor
- odolnost v agresivním prostředí

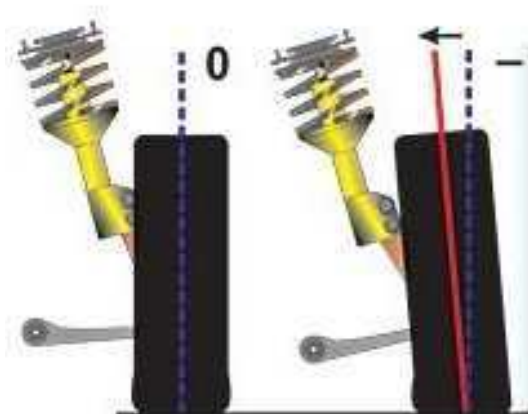


2 GEOMETRIE ŘÍZENÍ A JEJÍ PARAMETRY

Základním požadavkem na řízení vozidel je, aby se kola v přímém směru a při jízdě v zatáčce odvalovala a nedocházelo k jejich smýkání. Za geometrií řízení jsou považovány geometrické parametry, které se u nápravy nastavují, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností nápravy během provozu. Geometrie zavěšení kol tedy určuje postavení kola vůči vozovce. Podle průběhu některých kinematických charakteristik se mohou zjišťovat jízdní vlastnosti vozidla. Je proto nezbytné, aby všechny geometrické parametry náprav byly sladěny tak, aby umožňovaly bezpečné, stabilní a lehké řízení, snižovaly namáhání pneumatik a vlastní nápravy.

2.1 ODKLON KOLA

Odklon kola označujeme jako sklon střední roviny kola od roviny kolmé k vozovce. Úhel odklonu kola β_0 se udává v úhlových stupních a minutách. Při propružení kola dochází u nezávislého zavěšení kol ke změně úhlu odklonu, současně dochází k naklápění kola a vlivem setrvačnosti vzniká moment, který prostřednictvím zavěšení kola bočně naklápí karoserii. [1]



Obr. 4 Odklon kola [9]

Vlivem změny odklonu vzniká také boční síla ve stopě pneumatiky, která má za následek, že zavěšení kola s velkou změnou úhlu odklonu zvyšuje namáhání samotného zavěšení a rámu. Při průjezdu vozidla zatáčkou se karoserie vlivem odstředivé síly naklápí směrem k vnější straně, zároveň se vnitřní kola oddalují od karoserie a vnější se přibližují ke karoserii. Pro zlepšení jízdní stability při zatáčení ve vysoké rychlosti by měla změna odklonu vnějšího kola vyrovnávat naklopení karoserie, aby kolo zůstalo na vozovce v přibližně kolmé poloze a mohlo tak zachycovat maximální boční síly. [1]



2.1.1 POZITIVNÍ ODKLON

Většina vozidel má u přední rejdové nápravy pozitivní odklon kola od $0^{\circ}20'$ do 2° . Odchylna $\pm 30'$ leží ještě v přípustné toleranci. Kladný odklon se používá z důvodu, aby se pneumatiky odvalovaly po mírně klenuté vozovce kolmo a vznikalo stejné opotřebení. Pozitivní odklon zlepšuje směrovou stabilitu vozidla při přímém směru jízdy a zmenšuje poloměr rejdu. Pro lepší boční vedení pneumatik v zatáčkách se v současné době volí odklon nulový. [8]



Obr. 5 Pozitivní odklon [10]

2.1.2 NEGATIVNÍ ODKLON

U zadní nápravy má většina osobních vozidel negativní odklon kola od $-0^{\circ}30'$ do -2° . Příklon kola zlepšuje boční vedení při jízdě zatáčkou, ale zvyšuje opotřebení vnitřní plochy běhounu pneumatiky. [8]

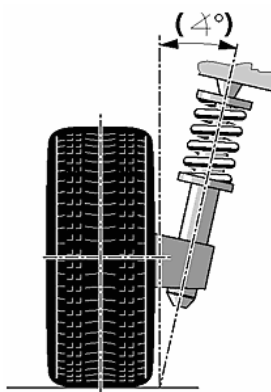


Obr. 6 Negativní odklon [10]

2.2 PŘÍKLON REJDOVÉ OSY

Jako příklon rejdové osy se označuje průmět úhlu sevřeného rejdovou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla. Úhel příklonu rejdové osy β_p se udává v úhlových stupních a minutách a bývá obvykle 5° až 10° . [8]

U vozidel s lichoběžníkovou nápravou je rejdová osa (osa řízení) dána spojnici středů horního a dolního kulového čepu. U nápravy McPherson je rejdová osa dána spojnici středu horního závěsného ložiska a středu spodního kulového čepu uloženého v příčném rameni. Podle polohy tohoto čepu může být rejdová osa totožná s osou vzpěry McPherson, ale častěji je spodní kulový čep posunut dovnitř kola za účelem zmenšení poloměru rejdu nebo získání záporného poloměru rejdu.



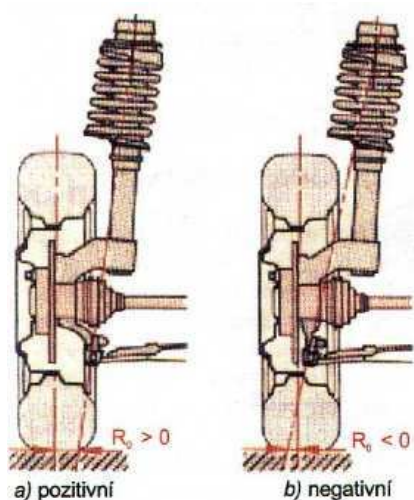
Obr. 7 Příklon rejdové osy [11]

Příklon rejdové osy slouží především k samočinnému vracení řízených kol do polohy pro přímou jízdu. Vlivem příklonu rejdového čepu dochází při natáčení řízených kol k jejich zvedání a síla k tomu potřebná musí být vynaložena při natáčení volantu. Po následně uvolněním volantu po zatáčení tlačí zatížení přední nápravy přední kola do přímého směru jízdy účinkem vratného momentu. [1] [8]

2.3 POLOMĚR REJDU

Poloměr rejdu R_0 je vzdálenost mezi průsečíkem rejdové osy s rovinou vozovky a středem styku pneumatiky s vozovkou, která je promítnuta do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla. [1]

Poloměr rejdu může být pozitivní a to tehdy, leží-li tato vzdálenost uvnitř střední roviny kola, nebo negativní, pak leží tato vzdálenost vně střední roviny kola. Na velikosti poloměru rejdu závisí velikost vratného momentu, čím jsou hodnoty pozitivního poloměru rejdu větší, tím se zvyšuje i tento vratný moment. Větší poloměr rejdu má ale za následek to, že je přední náprava více citlivější na podélné síly.



Obr. 8 Poloměr rejdu [8]



2.3.1 POZITIVNÍ POLOMĚR REJDU

Při brzdění působící brzdná síla natáčí přední kola ven (do rozbíhavosti). Pokud je rozdílná přilnavost kol, kolo s větší přilnavostí je natáčeno více ven a vozidlo „táhne“, do strany. Proto nemá být poloměr rejdu velký (u osobních vozidel max. 40mm a u nákladních max. 60mm), ale přesto dostatečný, pro zachování přiměřené ovládací síly řízení a zabránit kmitání kol (neklid řízení). [8]

2.3.2 NEGATIVNÍ POLOMĚR REJDU

V současnosti mají téměř všechna osobní auta s předním pohonem a přední nápravou McPherson záporný poloměr rejdu. Brzdná síla působící na kolo a vytváří stáčivý moment, který natáčí přední část kola dovnitř (do sbíhavosti), protože bod otáčení leží ve vnější části stopy kola. Záporný poloměr rejdu má stabilizující účinek na řízení, řidič proto nemusí měnit natočení předních kol, i když je brzdění nesouměrné (vlivem rozdílného povrchu vozovky pod brzděnými koly a vlivem silně rozdílných brzdných sil vlevo a vpravo, zejména při poruše jednoho okruhu u diagonálního zapojení brzd, nebo při defektu pneumatiky u přední nápravy). [8]

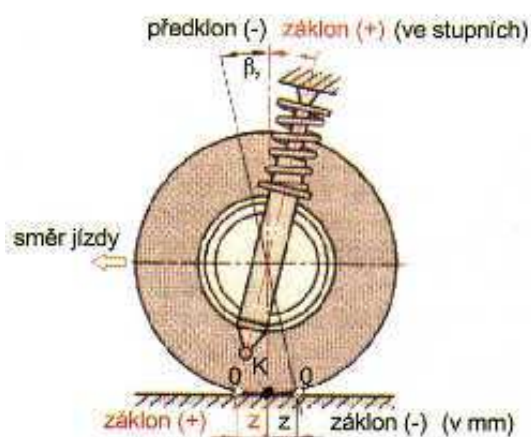
2.3.3 NULOVÝ POLOMĚR REJDU

Prodĺoužená rejdová osa protíná vozovku přesně ve středu stopy pneumatiky. Kola se natáčí do rejdu na místě, u stojícího vozidla je nutná velká síla v řízení pro natočení kol do rejdu. Při brzdění je kolo natáčeno ven, ale natáčecí moment je podstatně menší než u pozitivního poloměru rejdu. [8]

2.4 ZÁKLON REJDOVÉ OSY

Jako záklon se označuje úhel β_z , který svírá rejdová osa a kolmice k vozovce v rovině rovnoběžné s podélnou svislou rovinou vozidla. Záklon se většinou určuje jako úhel v úhlových stupních a minutách. Záklon můžeme také určit jako vzdálenost z průsečíku osy kola s vozovkou K a průsečíku rejdové osy s vozovkou O (závlek kola). V tomto případě se záklon kola udává v milimetrech. [1]

Účinek závleku na vracení kol do přímého směru je dán tím, že jsou kola vlečena, nikoliv tlačena. Je-li bod O před bodem K, jedná se o pozitivní záklon rejdové osy, je-li bod O za bodem K, jedná se o negativní záklon (předklon) rejdové osy. [8]



Obr. 9 Záklon rejdové osy [8]



2.4.1 POZITIVNÍ ZÁKLON

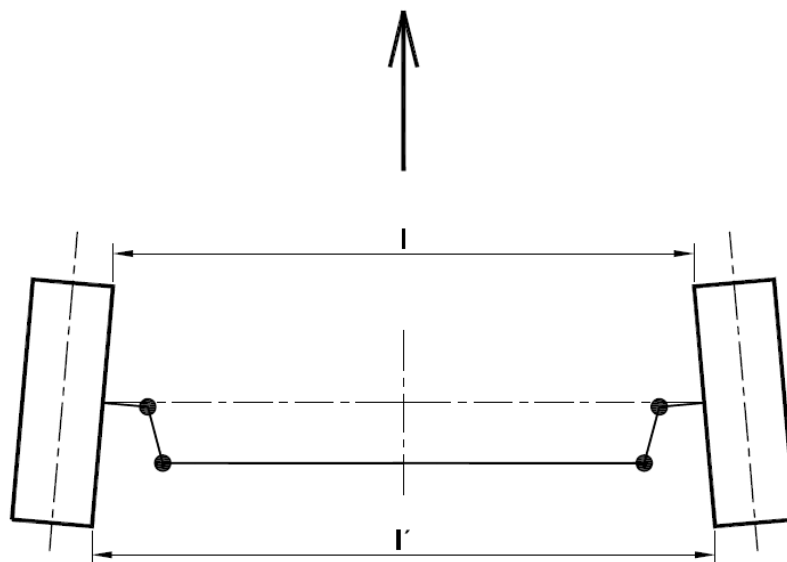
V tomto případě jsou kola vlečena a stabilizována v přímém směru. Působením záklonu je vnitřní kolo při natočení v zatáčce nadzvedáváno a vnější stlačováno. Tím se vytváří vratný moment, který způsobí vracení kol do přímého směru po projetí zatáčkou. Hnací síla působí ve směru jízdy a vlivem záklonu vzniká moment, který zvětšuje úhel rejdu. Osobní automobily s motorem vzadu, u kterých je přední náprava méně zatížena, mají větší úhel (max. 10°) záklonu než vozidla s motorem vpředu. [8]

2.4.2 NEGATIVNÍ ZÁKLON

Používá se u některých vozidel s pohonem předních kol a způsobuje zmenšení vratného momentu při výjezdu vozidla ze zatáčky. Tím brání příliš intenzivnímu vracení kol do přímého směru. Záklon a příklon společně ovlivňují vratný moment, který působí na kola v rejdu, stabilizují kola v přímém směru a zabraňují kmitání kol. [8]

2.5 SBÍHAVOST

Sbíhavost je rozdíl vzdáleností $l' - l$ mezi vnitřními okraj ráfků kol při postavení kol do přímého směru. (Obr. 10). Měření se provádí ve vodorovné rovině, která prochází středy kol a určuje se pro obě kola společně v milimetrech nebo úhlových stupních a minutách. Z tohoto měření lze poté určit, zda se jedná o sbíhavost ($l' - l > 0$), nulovou sbíhavost ($l' - l = 0$) a rozbíhavost ($l' - l < 0$). [1]



Obr. 10 Sbíhavost kol

Přední kola vozidel s pohonem zadní nápravy při pozitivním poloměru rejdu mají snahu se natáčet svou přední částí ven (do rozbíhavosti). Nastavením sbíhavosti se zabrání kmitání kol a zlepši se směrová stabilita v přímém směru jízdy. U vozidel s předním pohonem se vzhledem k působení hnací síly přední část kola natáčí dovnitř (do sbíhavosti). Proto se u



těchto vozidel nastavuje rozbíhavost, ale pokud však mají rejdová kola negativní poloměr rejdu, volí se sbíhavost (většina předních hnacích náprav má negativní poloměr rejdu). Účelem sbíhavosti předních kol je, aby se kola při přímé jízdě odvalovala paralelně.

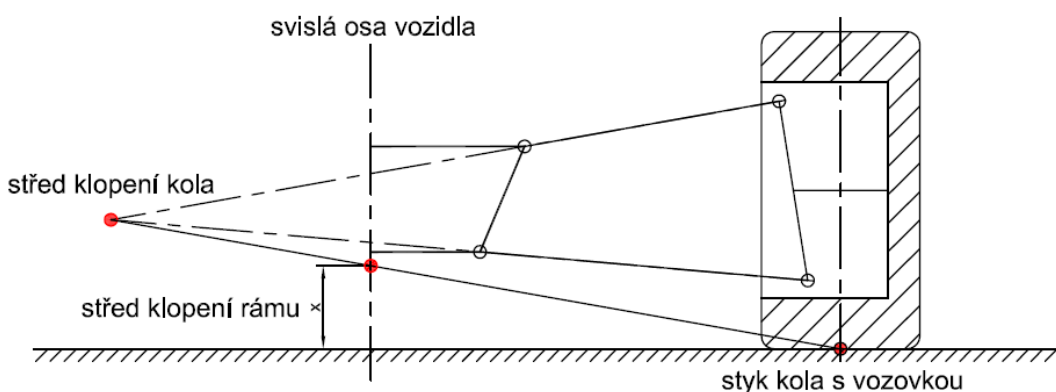
Sbíhavost také částečně vyrovnává boční sílu, která vznikne při změně odklonu kola při propružení. Příliš velká sbíhavost vede k opotřebení pneumatik na vnější straně. U osobních vozidel bývá sbíhavost 0mm až 3mm (0° až $30'$) a u nákladních vozidel 3mm až 8mm.

2.6 STŘED KLOPENÍ A KLONĚNÍ KAROSERIE

K dalším důležitým kinematickým parametrům patří změna polohy středu klopení při zdvihu kola. Střed klopení je bod, kolem kterého se při průjezdu zatáčkou naklání - klopí polonáprava, resp. karoserie. Při tomto pohybu (propružení) dochází ke změnám odklonu kola, změně rozchodu náprav a dochází k samořízení. Aby tyto změny byly co nejmenší, je nutné, aby střed klopení ležel co nejdále od kola.

U lichoběžníkové nápravy se v příčném svislém řezu protáhne horní a dolní rameno a jejich průsečík je střed klopení kola (Obr. 11). Spojením tohoto bodu se středem dotyku kola s vozovkou vznikne v ose vozidla průsečík, který se nazývá bod klopení karoserie (Obr. 11). Střed klopení se při zdvihu kola mění. Poloha tohoto středu by měla být co nejbližší k vozovce, aby nedocházelo k příliš velkému naklápění karoserie při průjezdu zatáčkou a tím ke značnému přenosu zatížení mezi levým a pravým kolem.

Pro malé náklony karoserie je také důležitá vzájemná poloha středů klopení přední a zadní nápravy, které spojuje tzv. osa klopení karoserie. Střed klopení přední nápravy by měl být umístěn níže, než je střed klopení zadní nápravy - osa klopení karoserie se zvyšuje zepředu dozadu.

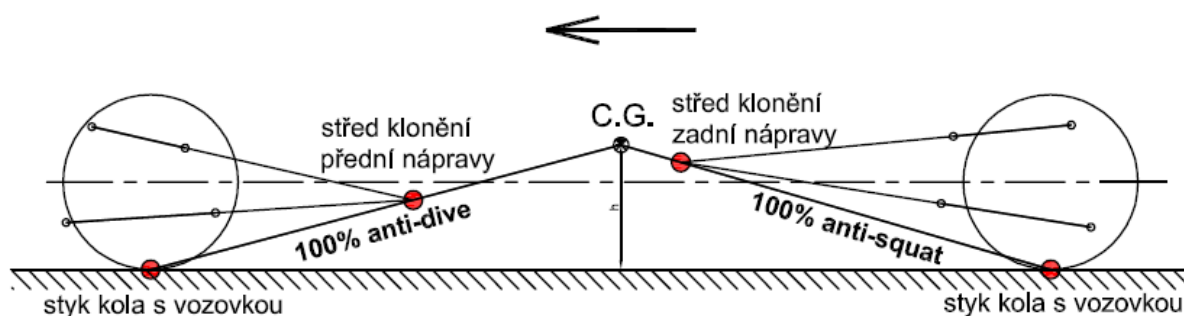


Obr. 11 Poloha středu klopení kola/rámu



Střed klonění je dalším prvkem, který ovlivňuje chování vozidla při jízdě. U lichoběžníkové nápravy je tvořen průsečíkem spojnic horní a dolního trojúhelníkového ramene v podélném směru vozu (Obr. 12). Tento průsečík se vytvoří pro přední a zadní polonápravu. Střed klonění karoserie je poté tvořen průsečíkem přímek, které jsou dány středem dotyku kola s vozovkou a průsečíkem klonění přední a zadní nápravy (Obr. 12).

Aby nedocházelo při brzdění vozidla k předklánění (při akceleraci k zaklánění), neboli aby se docílilo anti-dive (anti-squat) efektu, musí ležet střed klonění ve výšce těžiště vozidla. Při brzdění resp. akceleraci se v těžišti nevytváří žádný moment vzhledem ke středu klopení karoserie a nevzniká tak předklánění, resp. zaklánění. Tohoto efektu se dosáhne tím, že jsou přední a zadní ramena vůči sobě skloněna.

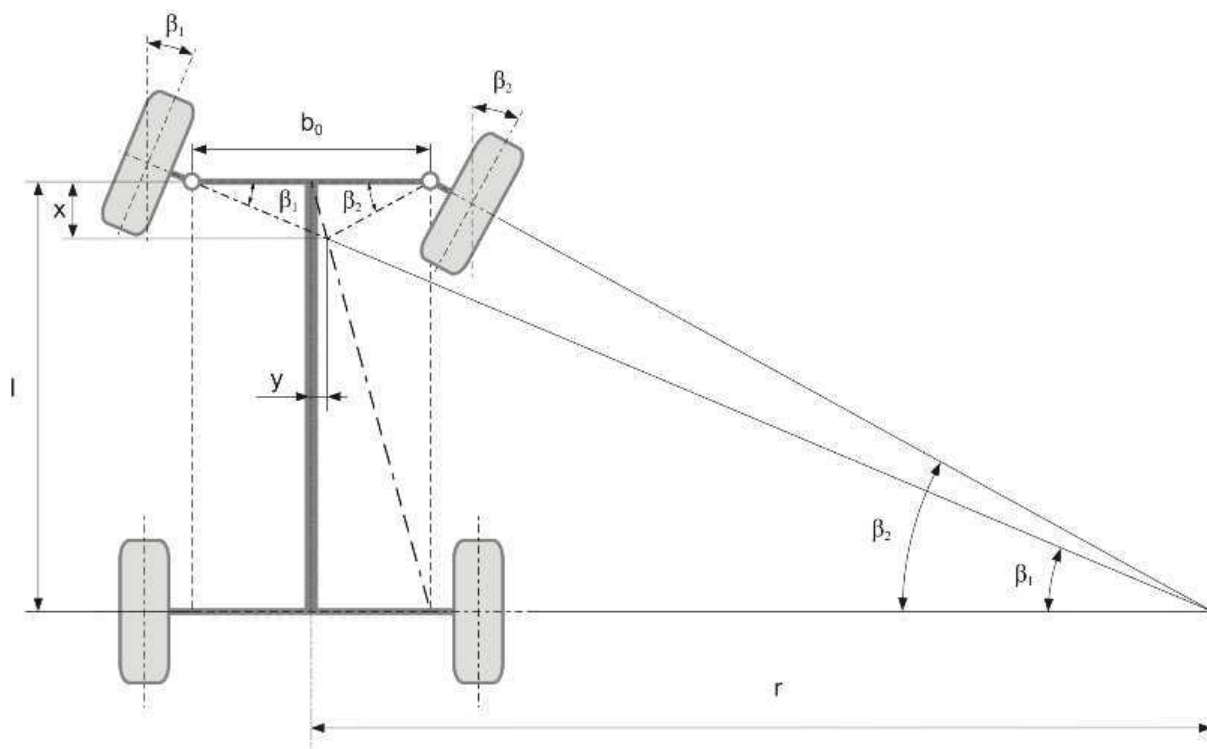


Obr. 12 Poloha středu klonění přední/zadní nápravy



2.7 DIFERENČNÍ ÚHEL

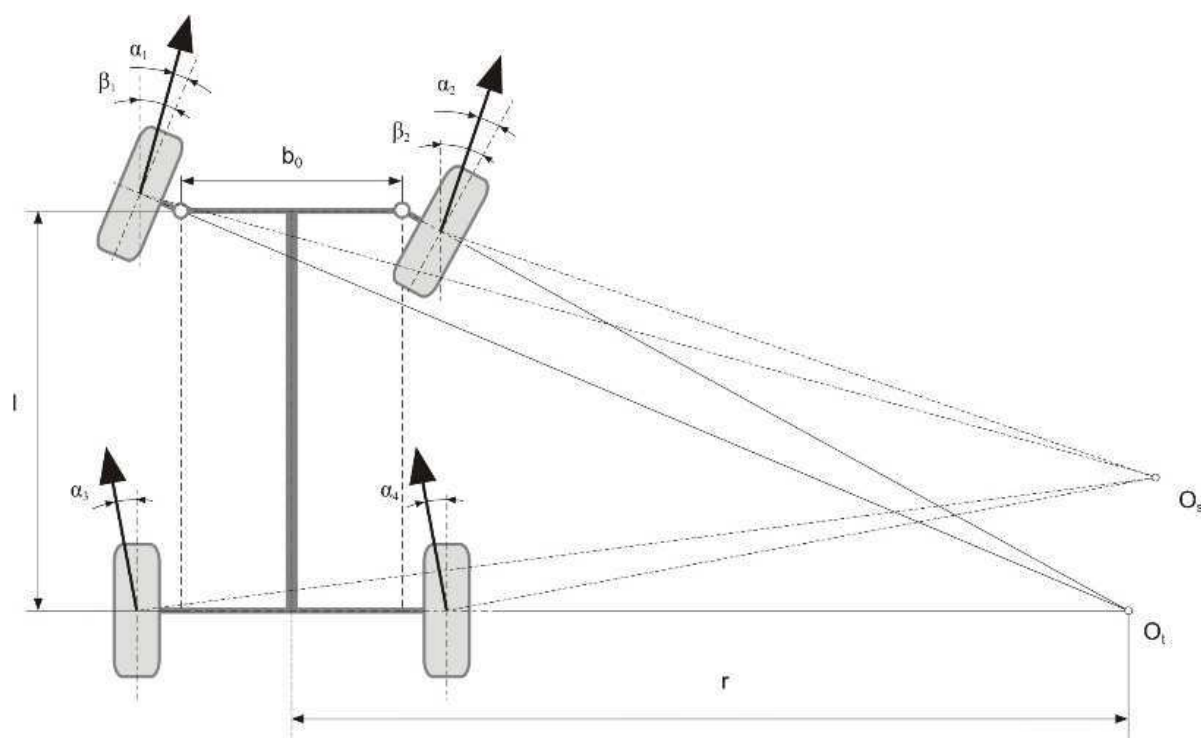
Při jízdě v zatáčce opisují vnější a vnitřní kola kružnice s jinými poloměry - tzn. kola téže nápravy ujedou nestejnou dráhu. Kdyby byla obě rejdová kola stejně natočena, žádné z nich by se neodvalovalo bez smýkání. Aby se obě kola odvalovala bez smýkání, musí být vnitřní kolo natočeno více než vnější - musí podvozek splňovat tzv. Ackermanovu podmínku. Pro ideální případ, ve kterém se uvažuje, že jsou kola bočně nepoddajná, leží střed otáčení na prodloužené ose zadní nápravy.



Obr. 13 Ackermannova podmínka řízení [28]

Pro splnění této teoretické podmínky se používá tzv. lichoběžník řízení, tzn., že řídicí páky spolu se spojovací tyčí tvoří tvar lichoběžníku. Ackermannova geometrie řízení platí tedy pro ideálně tuhá kola a malé rychlosti. [28]

Ve skutečnosti však vznikají při zatáčení na všech kolech směrové úchyly, které jsou vyvolané především odstředivou silou a poddajností (deformací) pneumatik. V důsledku těchto úchylek je skutečný střed otáčení posunut mimo teoretický střed otáčení (Obr. 14). Diferenční úhel je tedy úhel, o který je vnitřní kolo natočeno více než vnější při průjezdu zatáčkou. Velikost diferenčního úhlu se obvykle zjišťuje při natočení vnitřního kola do rejdu o 20° . Diferenční úhel má značný vliv na jízdní vlastnosti vozidla a opotřebení pneumatik.



Obr. 14 Skutečný střed otáčení vozidla [28]



3 ZAŘÍZENÍ K MĚŘENÍ GEOMETRIE

Prvními zařízeními na měření geometrie kol byly mechanická měřidla, která se do první poloviny 20. století postupně vyvíjela ve stále dokonalejší a jednodušší na ovládání. V roce 1952 byl představen první systém se světelným paprskem, který se promítal pomocí přístrojů namontovaných na kolech vozidla. Na stále rostoucí nároky kladené na určení geometrie kol nebyly tyto přístroje již dostatečně přesné. S vývojem počítačové techniky se optická zařízení dále zdokonalovala a na trh začala pronikat postupem času elektronická zařízení. Ta se vyznačují především bezdrátovou komunikací mezi měřicími hlavami a vyhodnocujícím zařízením. K nejmodernějším přístrojům k měření geometrie patří kamerové a bezdotykové systémy, které již nevyžadují montáž měřících zařízení přímo na kolo, a tím se zpřesňuje celé měření. Pro ještě lepší optimalizaci zavěšení kol při návrhu (konstrukci) náprav se stále více používá počítačových programů, které slouží k simulaci změn geometrie kol resp. kinematických parametrů při změně polohy zavěšení vlivem zatížení (propružení).

Tyto charakteristiky pak mají podstatný vliv na jízdní vlastnosti vozidla. Geometrii kol je nutné kontrolovat ve vhodných intervalech, nebo když to vyžadují okolnosti při řízení vozidla např. nadměrné opotřebení běhounu pneumatiky, pokud vozidlo táhne k jedné straně, po výměnách pneumatik, po výměnách čepů, dílů řízení, opravách nápravy nebo po najetí do větší díry, popř. obrubníku. Zařízení na měření geometrie kol se rozdělují podle principů, na jejichž základě pracují.

3.1 MECHANICKÁ MĚŘIDLA

Mechanická měřidla jsou založena na přímém měření délek a úhlů (odečet přímo na mechanických stupnicích). Mezi mechanická měřidla patří různé měřicí tyče, obkročná měřidla s vestavěnými posuvnými měřítky, olovnice a úhломěry.

Měření je jednoduché a velmi rychlé, ale není možné při tomto měření vyloučit nebo vykompenzovat házivost ráfků kol. Šikmé postavení náprav se může zkontrolovat pomocí normálních délkových měřidel, ale až po nastavení stejné sbíhavosti/rozbíhavosti levého a pravého kola. Tyto přípravky bývají osazeny měřicími hroty s hodinkami, což umožňuje měření s přesností na 0,2mm. [12]

Možná měřitelná odchylka sbíhavosti je 0 – 15mm. Pomocí těchto délkových měřidel se změří rozvor náprav, sbíhavost a rozbíhavost předních i zadních kol a délka úhlopříčky mezi pevnými body (např. zavěšení kol) přední a zadní nápravy.



Obr. 15 Mechanická měřidla [12]



K rychlému a orientačnímu zjištění sbíhavosti kol se také používají měřicí plošiny. Při nájezdu na volně uloženou plošinu se tato deska vlivem boční síly vyvolané sbíhavostí bočně posune. Tato výchylka je označována jako směrová odchylka nebo sbíhavost.



Obr. 16 Měřicí plošina [13]

3.2 OPTICKÉ PŘÍSTROJE

Optické přístroje jsou založeny na nepřímém měření polohy kola (např. pomocí fotoelektrických prvků). Optická zařízení se používají v kombinaci s měřicími libelami a mechanickými měřidly. Rozdělují se na zařízení s přímou a nepřímou projekcí.

U měřidel s přímou projekcí se na kola připevňují a poté vystředí držáky, které jsou osazeny projektory (světelnými zdroji). Projektory musí umístěny tak, aby ležely v rovině rovnoběžné s rovinou souměrnosti kola (kolmou k ose rotace). Projekční plochy se umístí na další nápravu nebo mimo vozidlo, dle použitého typu zařízení. Na těchto projekčních plochách se nachází stupnice pro jednotlivá měření, na které se promítá světelný paprsek z projektorů. Pomocí libel se nastavuje horizontální a vertikální rovina projektoru. Při měření úhlu natočení říditelného kola se měří na otočných deskách se stupnicemi. [2]

U optických měřidel s nepřímou projekcí se využívá držáků se zrcadly, které se připevní a vystředí na kola vozu. Na říditelných kolech mají zrcadla tři plochy. První plocha je kolmá k ose rotace kola zbylé dvě jsou lomené pod úhlem $\pm 20^\circ$ vůči podélné svislé rovině. Zrcadla umístěná na neříditelných kolech mají jednu plochu kolmou k ose rotace. Principem měření je, že světelný paprsek z halogenové žárovky projde stupnicí nacházející se v optice projektoru a odrazí se od zrcadla, umístěného na kole, zpět na bílou čelní plochu projektoru. Protože se úhel dopadu rovná úhlu odrazu, zobrazí se vychýlení zrcadla (tj. kola) v průmětu stupnic na čelní ploše projektoru. [2]

Výhodou těchto zařízení je, že u obou typů lze kompenzovat házivost ráfků. Měření lze provádět na podlaze i na zvedáku. Na přední nápravě se měří sbíhavost (rozbíhavost), úhel odklonu kola, úhel příklonu a záklonu osy rejdového čepu a diferenční úhel rejdu kol. Na zadní nápravě sbíhavost (rozbíhavost), dělená sbíhavost, vychýlení nápravy nebo polonápravy, úhel odklonu kola a vzájemné postavení obou náprav. Přesnost měření je určena tím, jestli všechny desky leží ve stejné horizontální rovině (povolená tolerance se pohybuje v desetinách mm).

3.3 ELEKTRONICKÉ PŘÍSTROJE

Elektronické přístroje jsou založeny jako optické přístroje na nepřímém měření polohy kol. V porovnání s optickými zařízeními je světelný paprsek nahrazen infračerveným paprskem a projekční plocha CCD kamerou.

Výchozím bodem měření podvozku vozidla bývá u těchto zařízení zpravidla levé přední kolo, k jehož poloze se vztahuje poloha ostatních kol a náprav. K měření se používají měřicí (snímací) hlavy, které se připevňují ke kolům vozidla. Jejich součástí jsou optoelektronické snímače, které převádí odražený lineární pohyb (infračervený paprsek) na elektrické signály pomocí fotoelektrického snímání rastru dvou skleněných prvků. [15]

Zařízení se používají ve čtyřhlavém provedení (tzn. na každém kole jedna snímací hlava) a každá hlava obsahuje dva senzory a dva projektory, proto je možné měřit polohu kola vůči kolu na stejné nápravě a zároveň vůči kolu na stejné straně vozidla, což umožňuje přesné a komplexní měření. Samotné měření probíhá opticky, ale výpočet a vyhodnocení výsledků provádí počítač. [15]



Obr. 17 Zařízení John Bean [15]

K nejmodernějším zařízením v současnosti patří kamerové a bezdotykové systémy. Kamerové systémy jsou tvořeny dvěma a více kamerami, které jsou umístěny v takové vzdálenosti před vozidlem, aby bylo dosaženo optimálního snímacího úhlu. Zdroje záření jsou umístěny na společném stojanu s kamerami a vysílají infračervené paprsky, které se odrážejí od terčů pevně připevněných na kolech. Paprsky odražené od každého terče přijímají snímací kamery, které obraz digitalizují a okamžitě vyhodnocují úhlovou polohu každé desky.



Obr. 18 Zařízení Hunter [14]

Bezdotykové systémy snímají údaje o geometrii podvozku pomocí stereoskopické technologie. Před samotným měřením je na zvolená místa nad každým kolem umístěno pět měřících značek. Poté se na každé kolo umístí magnetický adaptér, který je vybaven dalšími pěti měřícími značkami. Při projetí vozidla, které je osazeno měřícími značkami, zaregistrují kamery měřící body, osvětlené světelnými záblesky z různých pohledů. Z obrazových údajů nasnímaných tímto způsobem dokáže počítač vypočítat geometrii podvozku. [16]



Obr. 19 Zařízení Bosch – Luchs [16]



Po celou dobu měření je zaručena vysoká přesnost a díky minimální potřebné době pro seřízení a kalibraci (systém může snadno zkalibrovat dílenský personál pomocí referenčního měřidla a desky) se celý proces značně urychluje. To předurčuje optický systém měření geometrie podvozku pro budoucí vývoj v oblasti podvozkové techniky.

4 MĚŘENÍ KINEMATICKÝCH BODŮ FORMULE FASTER FORD

Prvním úkolem při zpracování diplomové práce bylo změření kinematických bodů zavěšení přední a zadní nápravy. Měření se provádělo pomocí optických scannerů TRITOP a ATOS, které vlastní ÚADI v Brně. Výstupem měření byly naskenované plochy ramen, úchytů (uniballů) a částí rámu. Těmto plochám se přiřadily v příslušném softwaru tzv. primitiva, díky nimž se poté získaly konkrétní souřadnice bodů zavěšení. Souřadnice bodů zavěšení se využily k dalšímu vyhodnocení zadaných úkolů diplomové práce.

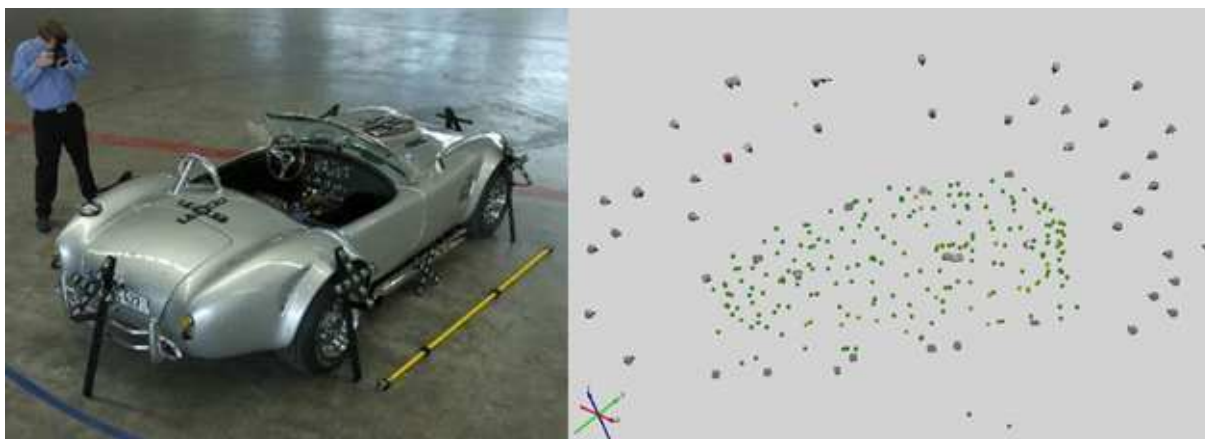
4.1 ZAŘÍZENÍ TRITOP

Optický systém TRITOP slouží k přesnému bezkontaktnímu měření polohy viditelných značek na měřeném objektu. Založen je na principu fotogrammetrie, kdy ze dvou či více snímků stejného objektu, které jsou pořízeny z různých pozic, se mohou určit prostorové souřadnice bodů nalepených na objektu.



Obr. 20 Komponenty zařízení TRITOP [18]

Data získaná při měření se dají použít k vytvoření digitálního modelu s přesnou geometrií a mohou se následně porovnávat s teoretickým CAD modelem. V praxi se nejčastěji používají při kontrole kvality, při reverzním inženýrství a při deformačních analýzách. K hlavním výhodám patří vysoká přesnost, mobilita, krátký přípravný čas, rychlé měření a zpracování dat.



Obr. 21 Mračno bodů, které se získá po nafocení objektu [17]



Tímto zařízením lze měřit objekty od velikostí $1 \times 0,5 \times 5\text{m}^3$ s přesností $0,015\text{mm}$ až do velikosti $10 \times 5 \times 5\text{m}^3$ s přesností $0,2\text{mm}$.



Obr. 22 Měření trupu lodě [17]

Při zpracování této práce se použil systému TRITOP v kombinaci se zařízením ATOS, což je další oblast jeho využití. Při skenování pouze systémem ATOS by bylo měření rozměrově velkých objektů časově náročné. Proto skener TRITOP posloužil jako doplňující zařízení k nadefinování značek umístěných na objektu před skenováním zařízením ATOS.

4.1.1 PRŮBĚH MĚŘENÍ

Umístění bodů



Obr. 23 Nalepení bodů [17]

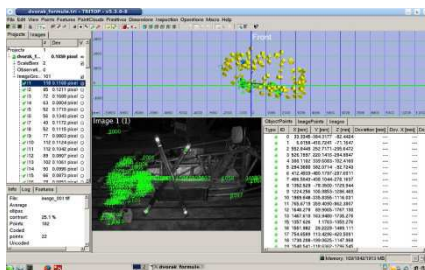
Vytvoření snímků



Obr. 24 Vytváření snímků [17]

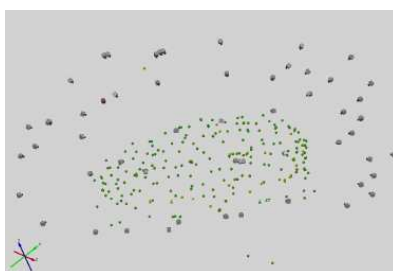


Automatický výpočet



Obr. 25 Vypočtené hodnoty [17]

Zobrazení výsledků



Obr. 26 Mračno bodů tvořící 3D model [17]

4.1.2 HARDWARE

- digitální fotoaparát Fujifilm FinePix S2 Pro s vysokým rozlišením a vyměnitelným objektivem Nikon se stálou ohniskovou vzdáleností



Obr. 27 Digitální fotoaparát

- paměťová karta CompactFlash pro ukládání snímků a redukce pro přenos snímků z karty do počítače



Obr. 28 Adapter a paměťová karta

- makroblesk EM-140DG pro optimální nasvícení měřeného objektu o větších rozměrech



Obr. 29 Externí blesk

- kódované referenční body; každý kódovaný referenční bod má své identifikační číslo a systém TRITOP jej automaticky rozezná a využije pro výpočet polohy fotoaparátu



Obr. 30 Kódované referenční body

- nekódované referenční body k získání prostorových souřadnic důležitých součástí měřeného objektu



Obr. 31 Nekódované referenční body

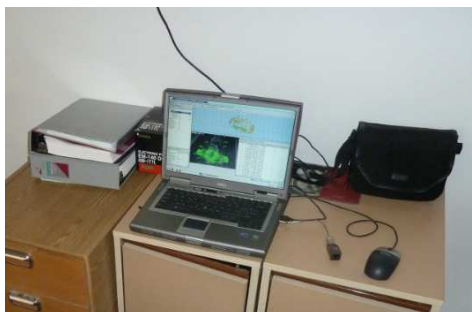
- certifikované kalibrační tyče pro určení měřítka výsledku měření; tyto kalibrační tyče mají na svém povrchu kódované referenční body s velmi přesně určenou vzájemnou vzdáleností; kalibrační tyče systém TRITOP využije pro určení vzdálenosti jednotlivých kódovaných a nekódovaných referenčních bodů



Obr. 32 Kalibrační tyče



- počítač s aplikačním softwarem pro analyzování a vyhodnocení sad snímků



Obr. 33 Počítač pro zpracování dat

4.1.3 SKENOVÁNÍ VOZIDLA

Měření kinematických bodů zavěšení se provádělo na experimentálním vozidle Formule Faster Ford v laboratořích C1 VUT v Brně. Základem vozidla je rámová konstrukce, která je svařena z ocelových trubkových profilů a na níž jsou přišroubována ramena. Všechny body zavěšení (na rámu i na těhlici) jsou vybaveny nastavitelnými kovovými klouby uniball. Důvodem volby těchto kloubů je plynulé nastavení kinematických parametrů vozu (seřízení sbíhavosti - zkracování nebo prodlužování řídicí resp. spojovací tyče, odklonu a příklonu rejdového čepu – nastavení poloh koncových kloubů uniball na horním resp. dolním rameni), které určují geometrii kol.



Obr. 34 Klouby uniball [19]

U tohoto vozidla je použito nezávislé zavěšení předních i zadních kol pomocí lichoběžníkové nápravy. Lichoběžníkovou polonápravu tvoří těhlice, dolní a horní trojúhelníkové rameno, které je přišroubováno na těhlici, kotouč uložený v ložiskách na hřídeli a tlačná tyč - pushrod. Odpružení je realizováno vinutými pružinami, lze u nich nastavit tuhost - předpětí pružiny. K tlumení jsou použity plynokapalinové tlumiče, které se mohou také nastavit. Vertikální pohyb kola se přenáší přes tlačnou tyč (pushrod) a vahadlo na pružící prvky.



Obr. 35 Zavěšení levého předního kola

Před měřením se z formule demontovala kola (pro naskenování roviny kotoučů) a bylo potřeba celou formuli vhodně podložit. Poté se na formuli začaly umisťovat kódované a nekódované referenční body, pomocí nichž se software orientuje v prostoru.



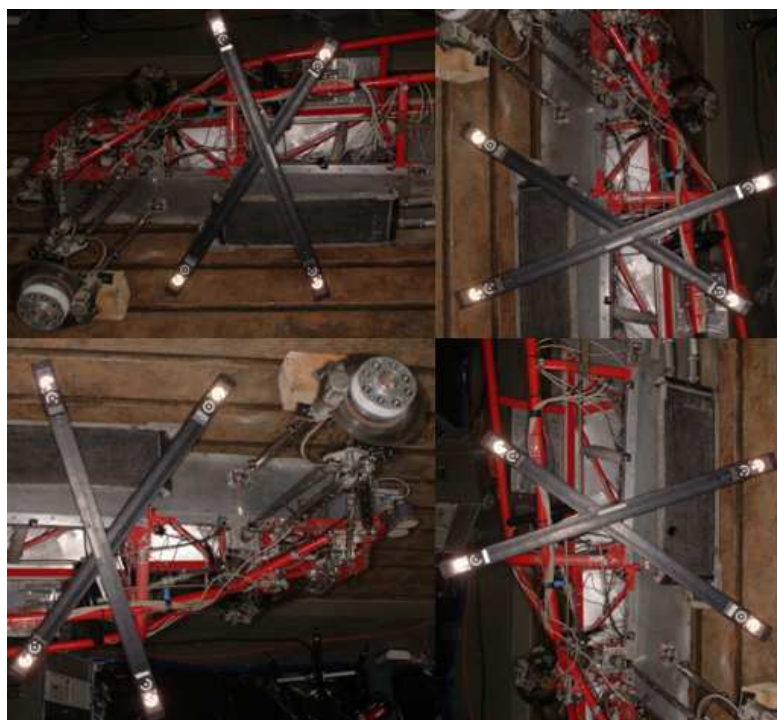
Obr. 36 Přípravné práce na vozidle

Dalším krokem bylo vhodné umístění kalibračních tyčí. Tyto tyče se k měřenému objektu umístily tak, aby byly kódované body, které jsou součástí kalibračních tyčí, viditelné na co nejvíce snímcích.

Před focením se fotoaparát nastavil na požadovanou světelnou clonu, citlivost a zaostření. Tyto parametry se již v průběhu focení nesměly měnit.



Z pozice, ze které bylo vidět co nejvíce kódovaných referenčních bodů, se vyfotografovaly čtyři snímky kalibračních tyčí pootočené vždy o 90° . Tyto body by měly být na kalibračních snímcích rozmístěny po celé jeho ploše.



Obr. 37 Jednotlivé snímky pootočené o 90°

Focení se provádělo ve třech výškových úrovních rotací kolem optické osy vozidla. Počet snímků v každé úrovni není pevně stanoven a závisí především na velikosti a složitosti snímané součásti. Sada snímků se skládá z mnoha překrývajících se snímků. Hlavním pravidlem při snímání vozidla bylo, aby na následující snímek obsahoval část předchozího snímku, tzn., že na každém snímku musí být viditelných nejméně pět kódovaných referenčních bodů, které systém TRITOP vyžaduje k určení polohy fotoaparátu. Nekódované referenční body jsou potřeba nejméně tři, aby se systém TRITOP automaticky určil jejich prostorové souřadnice. Je-li bod vidět na více snímcích, je jeho poloha určena přesněji.



Obr. 38 Výškové úrovně při focení

4.1.4 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Po nafocení celého vozu následovalo analyzování a zpracování sady snímků v softwaru TRITOP. Sada obsahovala 101 fotografií – kalibrační snímky a snímky ve třech výškových úrovních.

Průběh vyhodnocování sady snímků:

- a) vytvoření nového projektu
 - po zadání vstupních parametrů se měřicí projekt automaticky ukládá v podadresáři; tento podadresář má stejný název jako samotný projekt; data projektu se ukládají do souborů pro další využití



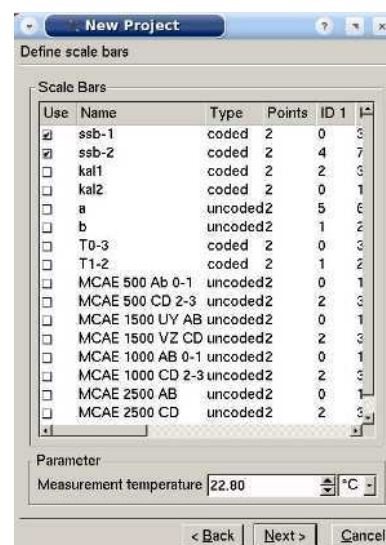
b) určení fotoaparátu, kalibračních tyčí a nekódovaných referenčních bodů

- fotoaparát je určen typem a ohniskovou vzdáleností objektivu, v tomto případě se jednalo o typ Fuji S2 Pro a ohniskovou vzdálenost 24mm



Obr. 39 Zadání parametrů fotoaparátu

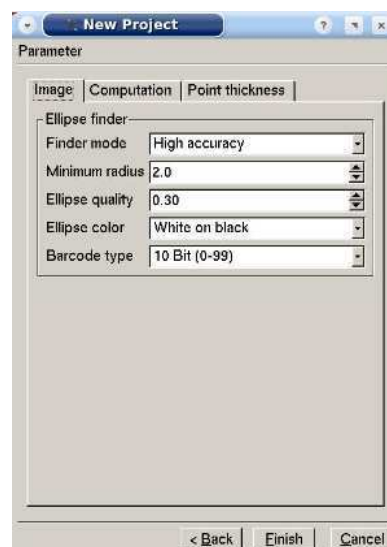
- jedná se o kódované kalibrační tyče s danou vzdáleností mezi dvěma referenčními body; také bylo třeba zadat teplotu okolí z důvodu dilatace kalibračních tyčí



Obr. 40 Parametry kalibračních tyčí



- u nekódovaných referenčních bodů se určuje, s jakou přesností mají být snímány, jejich minimální rádius a kvalita elips závislá na rozlišení fotoaparátu; v tomto měření se používaly referenční body 10-ti bitové sady



Obr. 41 Parametry referenčních bodů

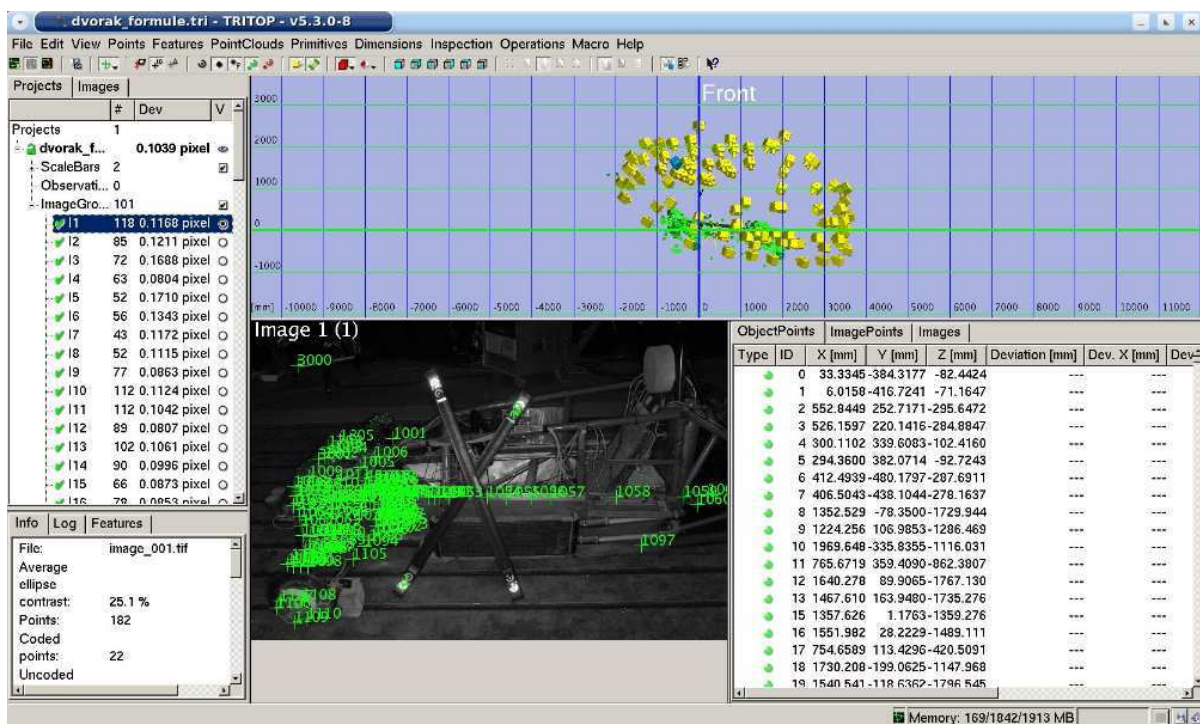
- tyto parametry byly velmi důležité, aby software TRITOP správně analyzoval nafocené snímky, zpracoval je a přiřadil nekódovaným referenčním bodům souřadnice X, Y a Z v požadované přesnosti.

c) výpočet referenčních bodů

- software TRITOP pracuje ve dvou módech, Bundle mode (vázací mód) a Evaluation mode (výpočtový mód)
- po vytvoření projektu se ve vázacím módu nejprve načtou vložené snímky; software TRITOP rozpozná kódované a nekódované referenční body
- pomocí spouštěcího příkazu začíná samotný výpočet - 2D snímky se převádí do prostorového 3D modelu pomocí vyhodnocení referenčních bodů, které musí vyhovovat zadaným kritériím
- výpočtový mód slouží k vytváření primitiv a k dalšímu zpracování referenčních bodů v 3D prostoru; primitiva jsou geometrické prvky tvořené body a čarami nalezenými při měření; pomocí nich lze např. určit přesné souřadnice napojení náprav k rámu, připojení horní a dolního ramene na těhlici atd.; tyto souřadnice budou následně potřebné k vytváření 3D modelu nápravy

d) kontrola výsledků

- po převedení 2D snímků na 3D model je ještě potřeba ve vázacím módu zkontrolovat přesnost jednotlivých snímků; pokud některý ze snímků má odchylku vyšší (v tomto případě $> 0,15$ pixelů), musí se konkrétní referenční body s vysokou odchylkou z daného snímku vymazat, a tím se zvýší jeho přesnost; tyto úpravy se prováděly pouze u snímků s nejvyšší odchylkou, aby nedošlo ke snížení přesnosti celého měření



Obr. 42 Vyhodnocení snímků

e) zadání souřadného systému

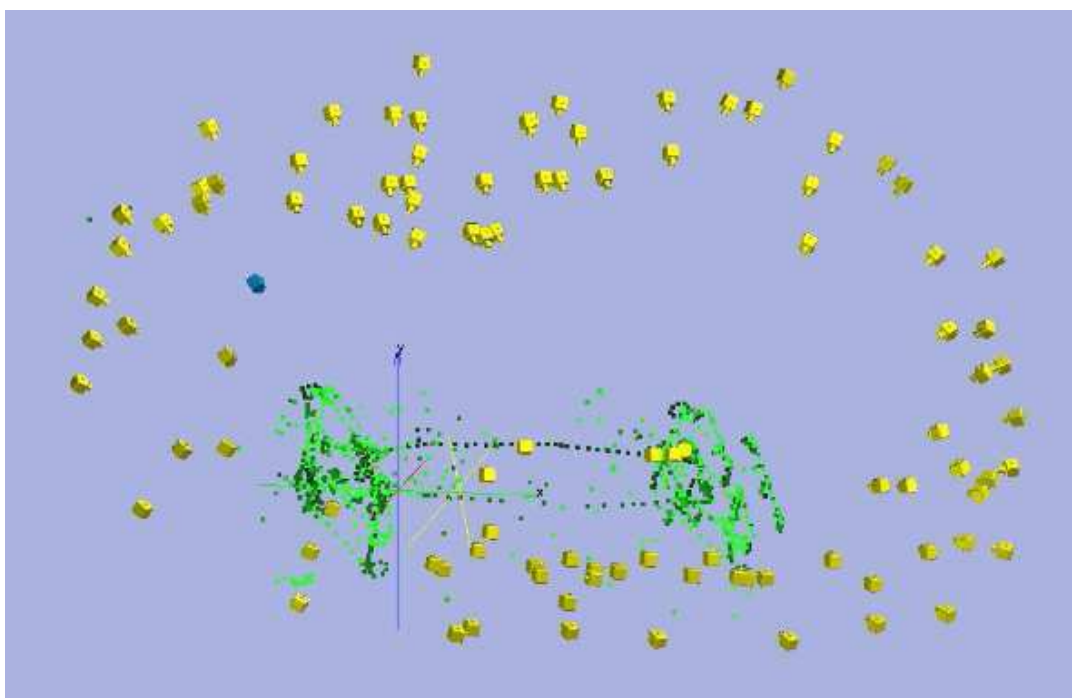
- při zpracování snímků byl systémem TRITOP automaticky vytvořen souřadný systém, který ale neodpovídal podélné a příčné ose resp. rovině vozidla; souřadný systém bude transformován do požadovaného počátečního bodu až po dokončení měření systémem ATOS

4.1.5 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Výstupem měření byly souřadnice X, Y a Z všech rozpoznaných nekódovaných referenčních bodů, které se ze softwaru TRITOP exportovaly ve formě datového souboru. Z tohoto souboru budou načteny tyto referenční body do softwaru systému ATOS a bude se s nimi dále pracovat.

Při skenování celé formule se odchylka mezi jednotlivými snímky pohybovala mezi hodnotami 0,07 až 0,12 pixelů. S přihlédnutím k velikosti skenované součásti a také k tomu, že se budou následně ještě snímat detaily zavěšení náprav optickým skenerem ATOS, je tato přesnost dostačující.

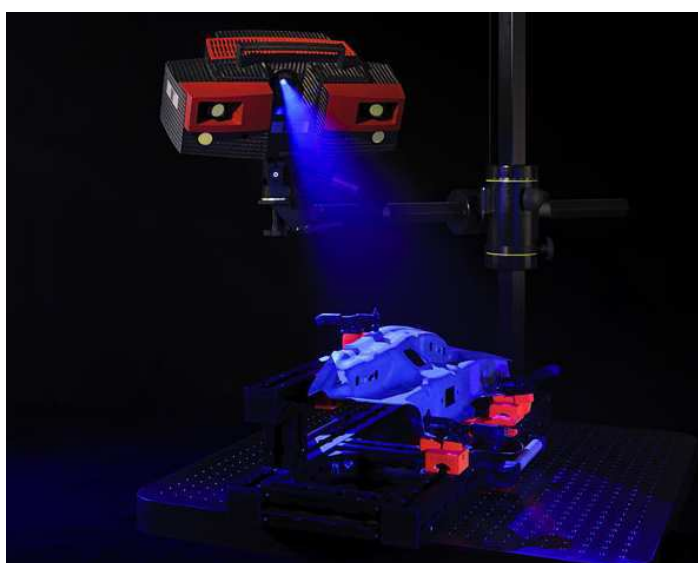
Systému TRITOP se využilo jako pomocného zařízení k vytvoření 3D modelu celého vozidla a k nadefinování velkého množství nekódovaných referenčních bodů. Model nebyl tvořen plochami, ale pouze referenčními body tzv. mračnem bodů. Skenování celého vozidla pouze systémem ATOS by bylo časově velmi náročné, protože se vyžadovalo nasnímat všechny body zavěšení vztažené k jednomu souřadnému systému.



Obr. 43 Trojrozměrný model vozidla tvořený mračením bodů

4.2 ZAŘÍZENÍ ATOS

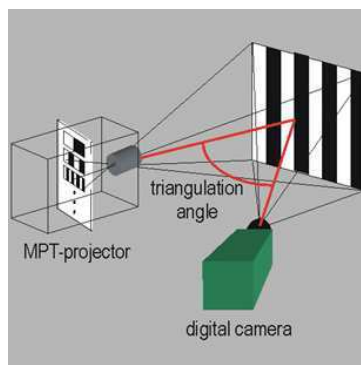
Zařízení ATOS, stejně jako zařízení TRITOP jsou výrobky německé firmy GOM, světově uznávanou společností, která vyvíjí a distribuuje optické měřicí systémy s hlavním zaměřením na aplikace, jako je 3D digitalizace, 3D měření souřadnic, měření deformací a kontrolu kvality. V úzké spolupráci s těmito aplikacemi je firmou GOM také vyvíjen měřicí a vyhodnocovací systém. Nespornou výhodou je kompatibilita mezi jednotlivými systémy (např. ATOS a TRITOP) a vysoká stabilita systému. [17]



Obr. 44 Nejnovější 3D optický scanner ATOS [20]



ATOS je mobilní bezdotykový optický scanner. Pracuje na principu triangulace, ke které využívá dvou snímacích kamer. Triangulací se rozumí způsob zjišťování souřadnic a vzdáleností. Provádí se trigonometrickým výpočtem, při kterém se sestrojí pomyslný trojúhelník, jehož jedna strana je známá. Tato strana je dána dvěma koncovými referenčními body a třetím bodem je místo, jehož souřadnice se zjišťují.



Obr. 45 Využití triangulace při měření [21]

Zařízení ATOS se nejvíce uplatňuje v oblastech CAD, CAM a FEM, protože se zde vyžaduje měření reálných objektů a jejich následné porovnání s teoretickým modelem. K výhodám tohoto systému patří vysoká flexibilita (možnost měřit objekty od několika milimetrů až do několika metrů) a vysoké rozlišení, které se u nejmodernějších typů pohybuje kolem 90 bodů na 1mm délky. Po úpravě povrchu (zmatněním) lze také snímat průhledné a lesklé objekty. [20]

4.2.1 PRŮBĚH MĚŘENÍ

Umístění senzoru



Obr. 46 Nastavení senzoru [22]

Skenování



Obr. 47 Promítání proužků na měřený objekt [22]

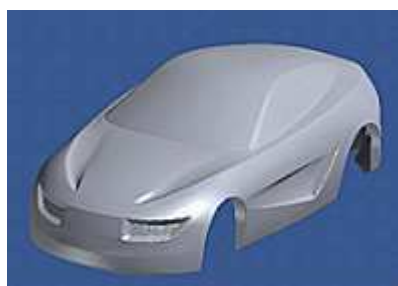


Zobrazení jednotlivých měření



Obr. 48 Nasnímaná plocha [22]

Zobrazení výsledků



Obr. 49 Plocha naskenovaného objektu [22]

4.2.2 HARDWARE

- snímací hlava, která se skládá ze dvou kamer a projektoru; je umístěna na stativu, který umožňuje plynulé snímání všech ploch měřeného objektu



Obr. 50 Snímací hlava umístěná na stativu



- výkonný počítač se softwarem pro zpracování a úpravu naskenovaných ploch



Obr. 51 Počítač pro zpracování dat

- pomocí kalibračních desek se daný senzor identifikuje měřicímu softwaru a ten poté přesně rozpozná nekódované body na snímaném objektu; kalibrace je velmi důležitá z hlediska přesnosti celého měření
- přípravek (bílý práškový sprej) pro zmatnění lesklých ploch; jeho použití je nezbytné pro dosažení optimálních výsledků

4.2.3 SKENOVÁNÍ NÁPRAV

Dalším krokem ke zjištění souřadnic bodů zavěšení bylo naskenování konkrétních ploch ramen a rámu vozidla zařízením ATOS. Pro měření se využilo dat, získaných předchozím měřením systémem TRITOP. Vycházelo se již z připraveného vozidla Formule Faster Ford. Udělalo se pouze několik specifických úprav, které se vyžadují pro měření zařízením ATOS. Jednalo se především o nastříkání snímaných míst bílým křídovým sprejem z důvodu zmatnění lesklých ploch a dále demontování přední i zadní nápravy pro určení os šroubů, kterými jsou ramena uchycena do rámu.



Obr. 53 Demontovaná ramena

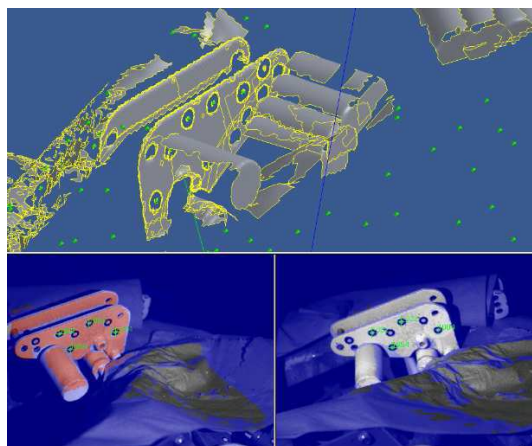


Obr. 52 Závěsné body na rámu



K určení polohy děr se použilo pomocných těles – válcové vrtáky o průměrech 8mm a 16mm a válcové těleso s průměrem 32mm a průměrem stopky 8mm. Na tyto tělesa bylo také nutné nanést zmatňující barvu pro lepší průběh měření. Po dokončení příprav se mohlo přejít ke kalibraci zařízení, skenování a závěrečnému zpracování naměřených dat.

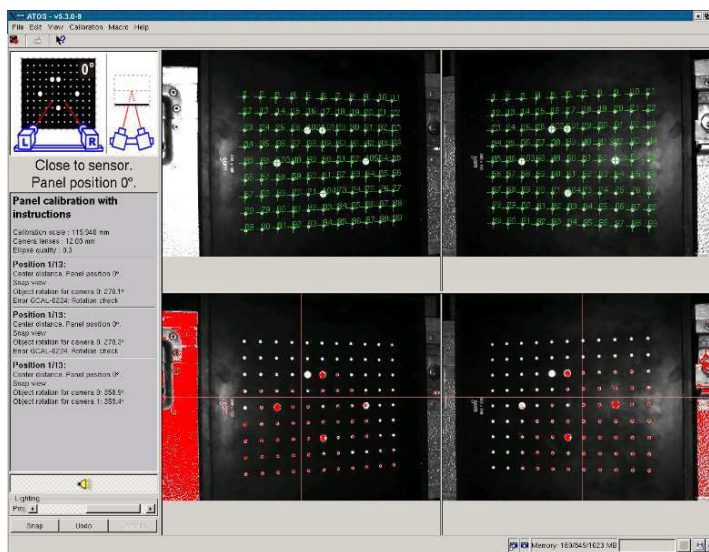
V tomto případě (kombinace systému TRITOP a ATOS) se v softwaru ATOS založil nový projekt, do něhož se importovala naměřená data ze systému TRITOP. Data tvořila v tomto založeném projektu tzv. mračno bodů, pomocí nichž se systém orientoval na vozidle a přiřazoval těmto referenčním bodům naskenované plochy.



Obr. 54 Naskenovaná plocha přiřazená k referenčním bodům

- kalibrace

Před každým měření se prováděla kalibrace systému. Důvodem byla co nejvyšší přesnost měření a dosažených výsledků. Při přenášení zařízení, montáži a demontáži snímací hlavy, nebo výměně kamer je možnost odchýlení snímacích kamer od výchozí pozice. V nově založeném projektu softwaru ATOS se tedy spustil příkaz pro automatickou kalibraci. Po zadání vstupních parametrů, ke kterým patří určení typu a rozměru kalibračního objektu, definice referenčních bodů a volbě ohniskové vzdálenosti čočky, se dle instrukcí provedla kalibrace systému.



Obr. 55 Průběh kalibrace

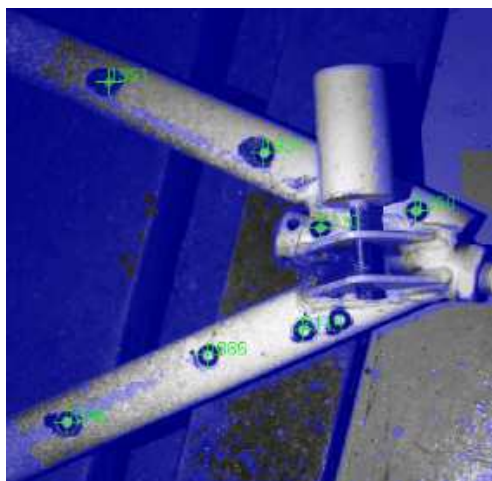


Kalibrace se skládala ze 13-ti snímků, ve kterých musela být kalibrační deska vždy v dané pozici dle pokynů softwaru. Kalibrační deska o rozměru 200x160mm se zvolila na základě velikosti snímaného objektu. Na Obr. 55 lze vidět optimální nasvícení desky (dolní část obrázku) a následné určení všech bodů na desce (horní část obrázku). Výstupem po nasnímání všech pozic desky byl protokol o průběhu kalibrace. Přesnost měření určovala hodnota kalibrační odchylky, která se pohybovala v rozmezí 0,02 – 0,03mm.

- skenování

Při skenování objektu bylo důležité nastavení optimálního nasvícení snímaných ploch. Aby nedocházelo k přesvícení objektu, muselo se zamezit přístupu okolního světla. Objekt se osvětloval pouze světlem z projektoru, které se mohlo regulovat. Dalším parametrem měření byla správná vzdálenost snímací hlavy od skenovaných ploch. V závislosti na použité snímací hlavě se vzdálenost měla pohybovat kolem 650mm. Intenzita světla se nastavovala ve dvou krocích. V prvním kroku se nastavovalo nasvícení skenovaných ploch a ve druhém kroku nasvícení referenčních bodů. Oba tyto kroky se mohli zobrazovat ve dvou módech - černobílém a barevném. V černobílém módu bylo nastavení optimální, když se v záběrech kamer, které se zobrazovaly na monitoru v softwaru ATOS, nezobrazovaly snímané plochy červeně. Pokud tento případ nastal, muselo se osvětlení snížit. Ve větší míře se používal barevný mód, jehož optimální zobrazení ploch se pohybovalo v přechodu odstínů žluté a zelené. Vlivem odchýlení od požadované vzdálenosti, tj. 650mm, se musela intenzita světla zvyšovat nebo snižovat.

Po nastavení těchto hodnot se mohlo spustit samotné skenování. Pomocí projektoru byl objekt osvětlován a promítaly se na něj projekční mřížky, které byly snímány postraními kamerami. V průběhu skenování, které trvalo kolem 8s, se nesmělo se skenerem i snímaným objektem pohybovat. Pro správné přiřazení naskenovaných ploch k referenčním bodům v projektu bylo nutné, aby daný záběr obsahoval alespoň 3 aktivní referenční body. S vyšším počtem aktivních referenčních bodů se přesnost umístění skenovaných ploch samozřejmě zvyšovala.



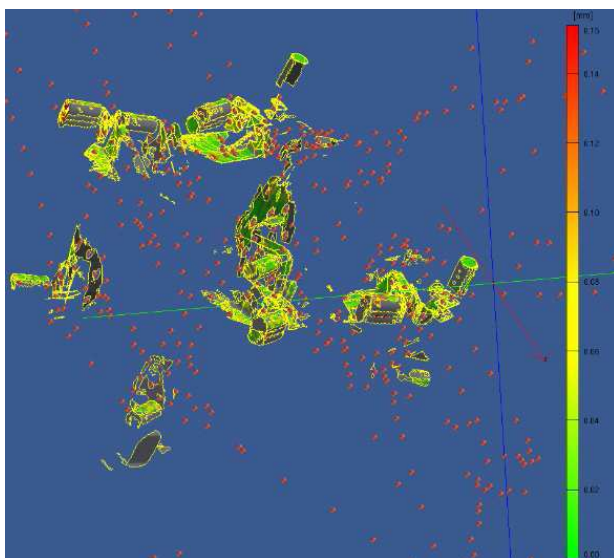
Obr. 56 Aktivní referenční body zobrazené zeleným křížkem

Stejně jako software TRITOP má software ATOS k dispozici vázací a výpočtový mód. Výše uvedené operace se prováděly ve vázacím módu. Po naskenování všech potřebných ploch následovala úprava naměřených dat.

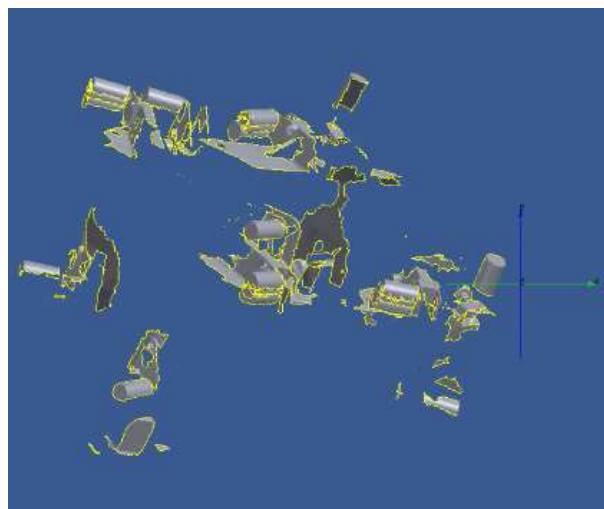
4.2.4 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Před spuštěním výpočtu bylo potřebné zkontrolovat jednotlivé naskenované snímky. U snímku, který obsahoval nedefinovaný bod, bylo nutné vyzkoušet, zda tento naskenovaný referenční bod nepřihadí software ke svým již známým bodům. Pokud ho nepřihadil, tak se tento bod vymazal z důvodu zvýšení přesnosti jednotlivých naskenovaných snímků.

Výpočet se skládal ze dvou částí. V první části se naskenované snímky spojily do jednoho objektu a zobrazily se spolu s barevnou mapou odchylek sítě a referenčních bodů. Po kontrole těchto hodnot se mohlo přejít ke druhé části výpočtu. V této části se nejprve nastavila požadovaná jemnost sítě a poté samotný výpočet, po jehož dokončení vznikl 3D objekt tvořený polygonovou sítí.



Obr. 57 Barevná mapa odchylek

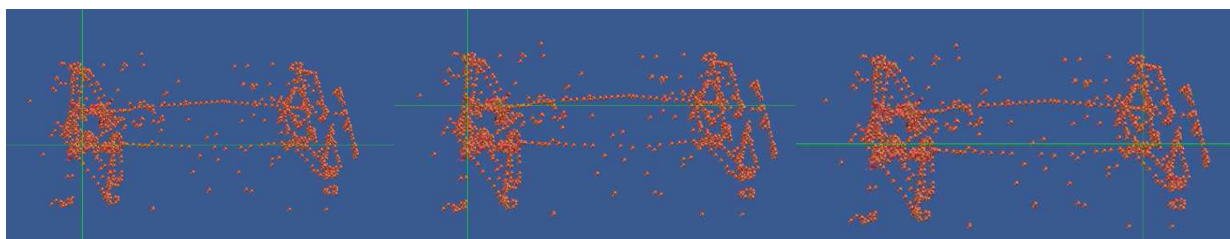


Obr. 58 Výsledný 3D objekt

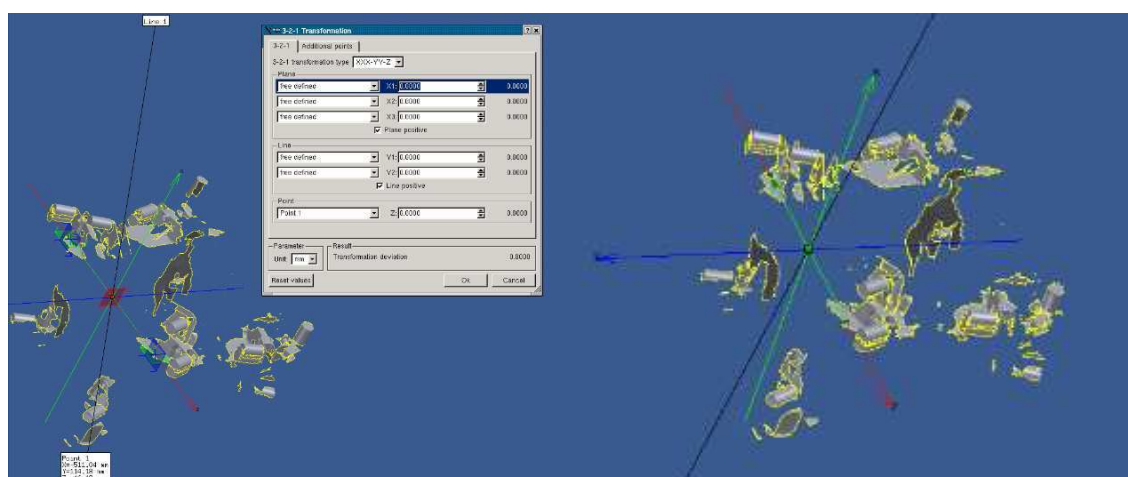
Po dokončení výpočtu se vázací mód opustil a posledním úkolem v softwaru ATOS byla transformace souřadného systému. Ta se prováděla z důvodu zlepšení orientace v modelu při určování souřadnice a vytvářela se v již zmíněném výpočtovém módu. Původní souřadný systém byl zvolen automaticky softwarem TRITOP do předem neurčeného počátku. Nový



souřadný systém se vytvořil pomocí 3-2-1 transformace, která je definována pomocí roviny (3 body), přímky (2 body) a bodu. Rovina se určila pomocí dvou bodů v přední části rámu a jedním bodem v zadní části (Obr. 59), přímka byla dána body v přední části rámu a poslední bod transformace se umístil do poloviny této přímky. Transformací vznikl nový počátek souřadného systému, ke kterému se budou vztahovat nalezené souřadnice bodů zavěšení náprav.



Obr. 59 Body použité k transformaci



Obr. 60 Nový souřadný systém

4.2.5 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Celé měření zařízením ATOS se rozdělilo do čtyř samostatných projektů z důvodu přehlednosti a orientaci v naskenovaných plochách. Další výhodou tohoto rozdělení bylo rychlejší zpracování dat při automatickém výpočtu.

Měření bylo časově náročné, protože se vyžadovalo naskenovat plochy zavěšení ramen obou náprav u Formule Faster Ford. Špatně viditelná místa se musela skenovat několikrát, protože ne vždy došlo k přiřazení nasnímaných ploch ke správným referenčním bodům. Tento problém vyžadoval nalepení dalších nekótovaných referenčních bodů a jejich identifikaci zařízením ATOS. K problematickým místům patřily dolní body zavěšení ramen a uchycení tlumičů. Čas také zabraly přípravné práce, které spočívaly v nanesení zmatňující barvy a demontáži ramen.

Pro standardní měření je dáno, že odchylka jednotlivých snímků by neměla být vyšší než 0,1mm. Při tomto měření se odchylka snímků pohybovala v průměru kolem hodnoty 0,06mm



a odchylka polygonové sítě mezi hodnotami 0,03 až 0,05mm. Z toho vyplývá, že kalibrace i způsob měření se prováděly správně.

4.3 URČENÍ SOUŘADNIC KINEMATICKÝCH BODŮ V SOFTWARE GOM INSPECT

Posledním úkolem bylo určení souřadnic bodů zavěšení ramen. Vypočtená data ze softwaru ATOS se exportovala ve formátu STL a následně se vložila do programu GOM Inspect, kde se zpracovaly jednotlivé plochy, které byly tvořené polygonovou sítí.

Program GOM Inspect je volně dostupným produktem německé firmy GOM. Slouží k prohlížení výsledků měření, inspekci a zpracování 3D polygonové sítě a umožňuje rozměrovou analýzu 3D mraku bodů nebo dat z optických scannerů. Obsahuje širokou nabídku nástrojů pro komplexní analýzy dílů a sestav. Inspekční metoda je založena na měřicích principech. Měřicí princip definuje metodu, která se používá pro vytvoření aktuálního elementu a zajišťuje automatickou vazbu mezi nominálními a aktuálními daty. Přesnost vyhodnocovacího softwaru je ověřována srovnáním výsledků získaných ze softwaru s referenčními hodnotami. [18]

Přehled funkcí pro zpracování polygonální sítě

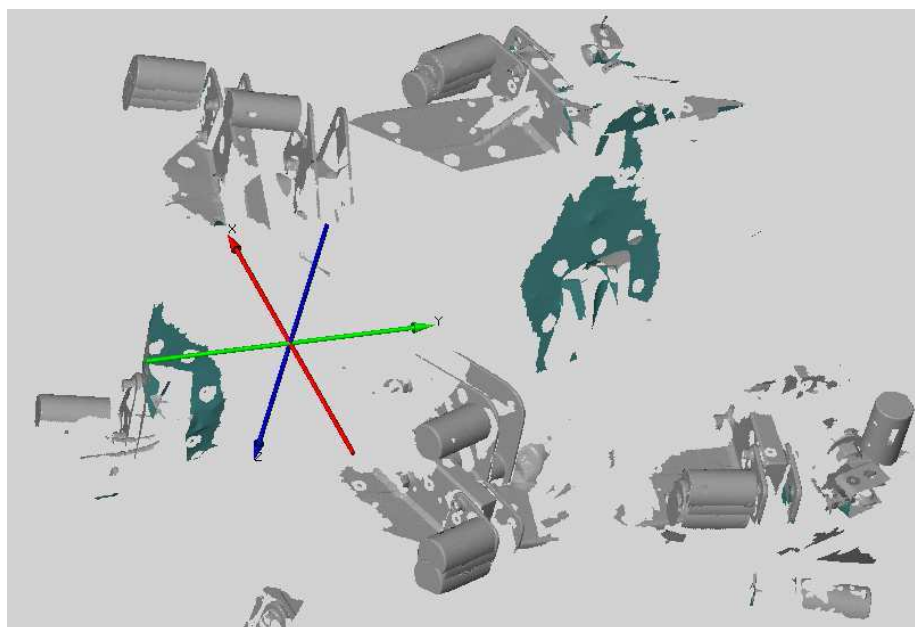
- import dat (ASCII, STL, POL, VDA, ...)
- zpracování 3D sítí
- nástroje pro 3D inspekci
- 2D analýzy
- vytváření komplexních protokolů
- export dat

4.3.1 POSTUP PŘI URČOVÁNÍ KINEMATICKÝCH BODŮ

- pro určení polohy kinematických bodů bylo nutné nejprve odměřit potřebné vzdálenosti posuvným měřítkem; jednalo se o tyto rozměry:
 - a) šířka úchytu pro rameno
 - b) tloušťka plechu (úchytu)
 - c) šířka kovového kloubu
 - d) šířka podložky (pokud byla použita)
 - e) průměr kovového kloubu
 - f) průměry pomocných válců

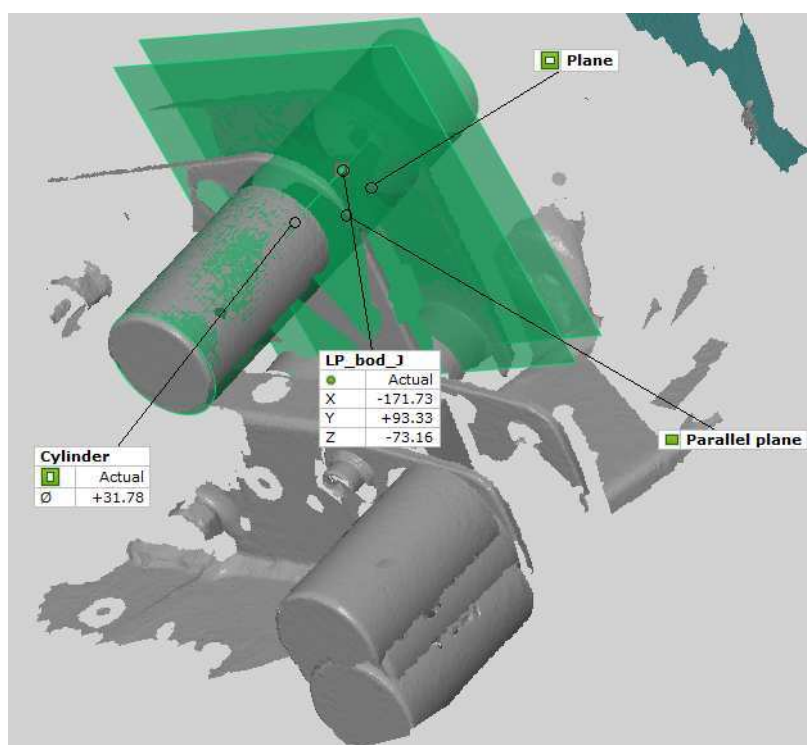
rozměry byly použity při vytváření primitiv (pomocných rovin)

- do nově vytvořeného projektu v programu GOM Inspect se importoval soubor ve formátu STL, který obsahoval naskenované plochy vztahované ke konkrétnímu souřadnému systému; pro zjištění všech potřebných souřadnic se použito 4 samostatných projektů, jako tomu bylo u měření zařízením ATOS



Obr. 61 Načtené plochy přední nápravy pro uchycení horního ramene

- souřadnice bodů se zjišťovaly pomocí primitiv; to jsou jednoduché objekty definované uživatelem; jedná se především o body, přímky, roviny, koule a válce; průnikem osy válce, nebo přímky s rovinou se určili potřebné souřadnice kinematických bodů



Obr. 62 Použitá primitiva pro určení polohy kinematických bodů



4.3.2 KINEMATICKÉ BODY PŘEDNÍ A ZADNÍ NÁPRAVY

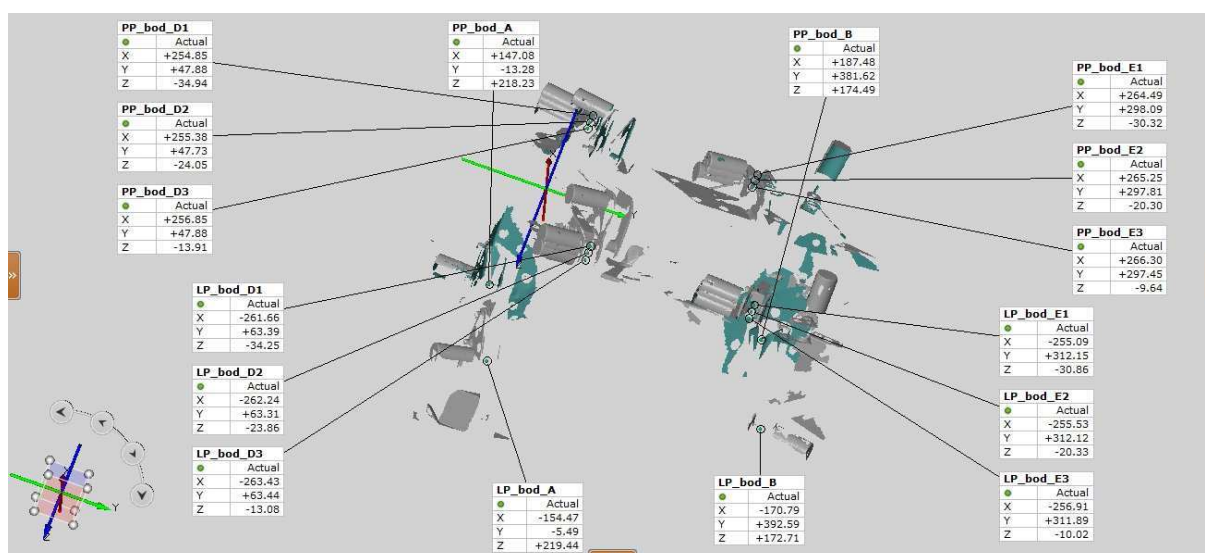
- popis bodů určující nápravu

Tab. 1 Značení kinematických bodů

Bod	Popis
A	přední kloub spodního ramene
B	zadní kloub spodního ramene
C	kloub spojující spodní rameno s těhlicí
D	přední kloub horního ramene
E	zadní kloub horního ramene
F	kloub spojující horní rameno s těhlicí
G	kloub spojující spojovací tyč s těhlicí
H	kloub spojující spojovací tyč s rámem
I	kloub spojující tlačnou tyč se spodním ramenem
J	Kloub spojující vahadlo s rámem
K	kloub spojující tlačnou tyč s vahadlem
L	kloub spojující tlumič s vahadlem
M	kloub spojující tlumič s rámem

Projekt č. 1

- určení bodů A, B, D a E na levé a pravé přední polonápravě (LP a PP)
- 3 možnosti uchycení horního ramene do rámu (body D1, D2, D3 a E1, E2, E3)

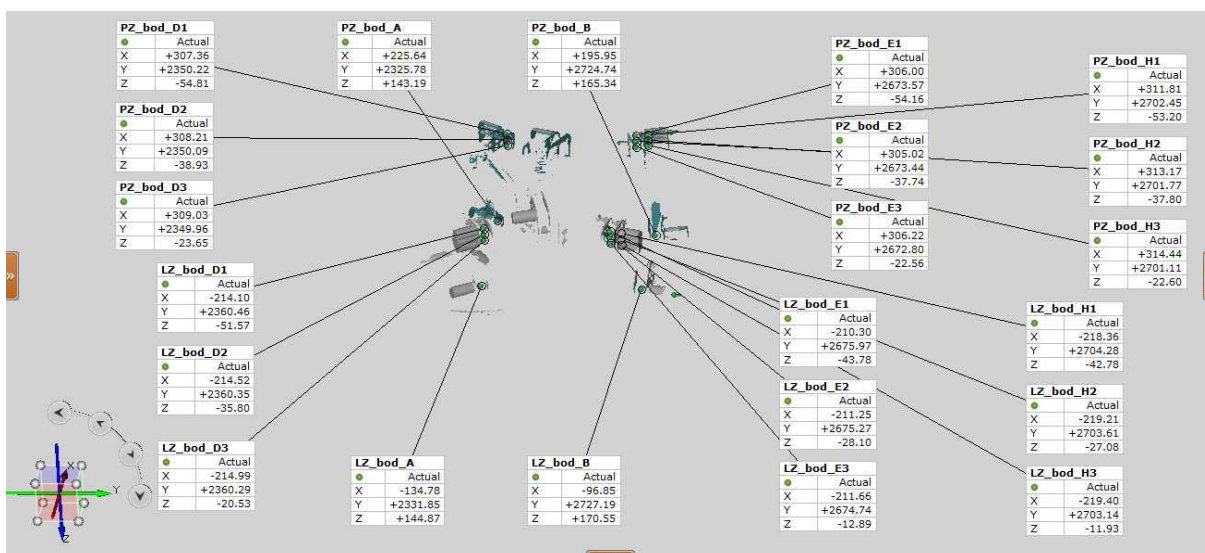


Obr. 63 Projekt č. 1



Projekt č. 2

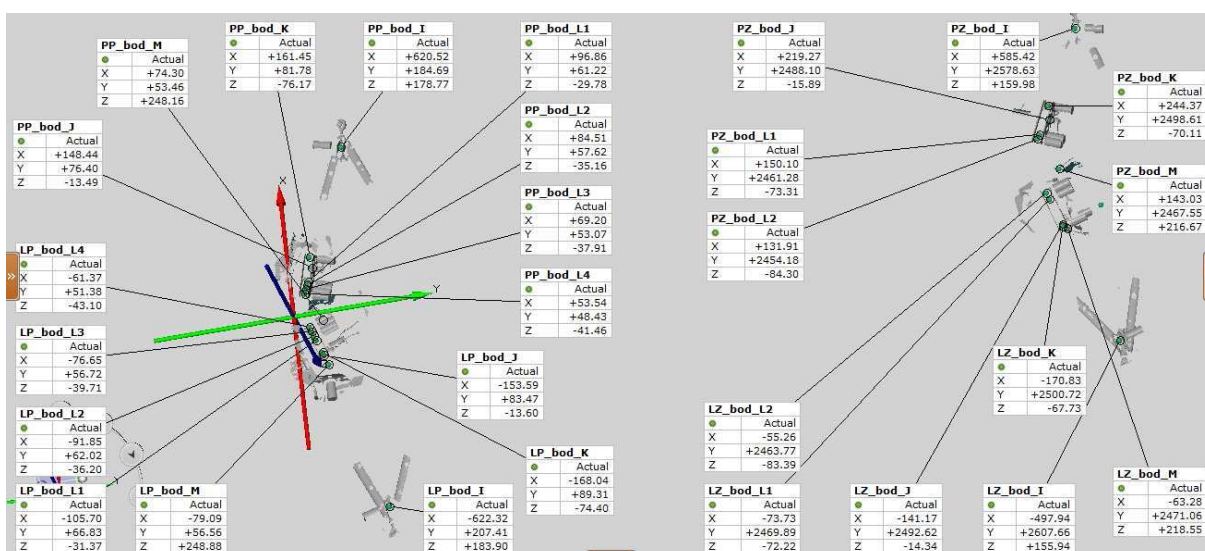
- určení bodů A, B, D, E a H na levé a pravé zadní polonápravě (LZ a PZ)
- 3 možnosti uchycení horního ramene a spojovací tyče do rámu (body D1, D2, D3 a E1, E2, E3 a H1, H2, H3)



Obr. 64 Projekt č. 2

Projekt č. 3

- určení bodů I, J, K, L a M na levé a pravé, přední a zadní polonápravě (LP a PP, LZ a PZ)
- 4 možnosti uchycení tlumiče do vahadla na přední nápravě (L1, L2, L3 a L4); 2 možnosti uchycení tlumiče do vahadla na zadní nápravě (L1 a L2)

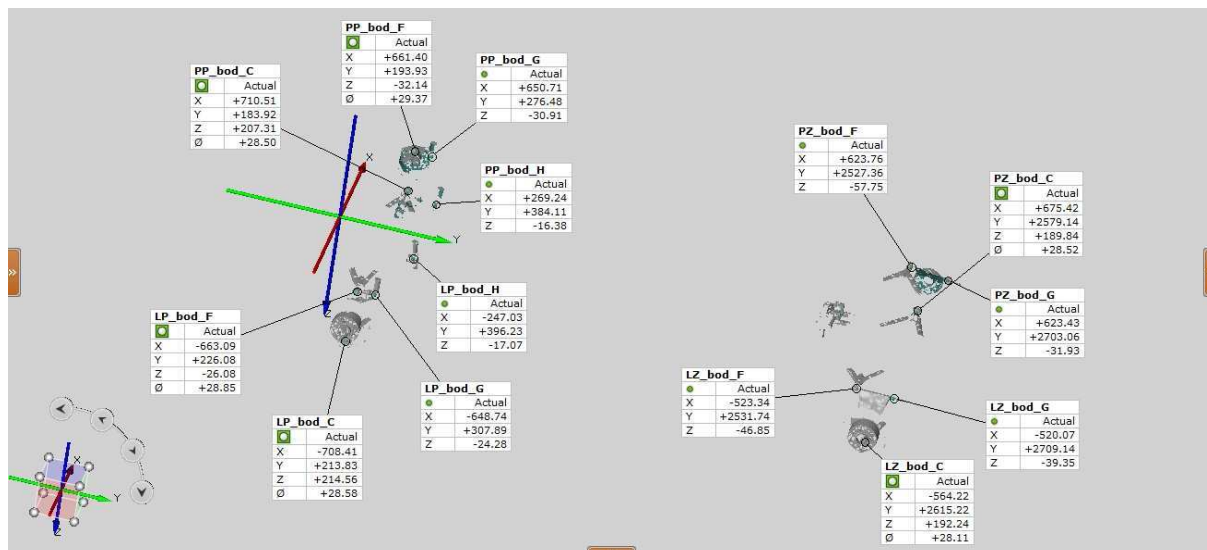


Obr. 65 Projekt č. 3



Projekt č. 4

- určení bodů C, F, G a H na levé a pravé přední polonápravě a bodů C, F a G na levé a pravé zadní polonápravě



Obr. 66 Projekt č. 4

4.3.3 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Celkem se určilo 80 kinematických bodů na přední a zadní nápravě. Pomocí těchto bodů byla vymodelována náprava a následné určení kinematických charakteristik, což byl další bod zadání práce.

Tab. 2 Souřadnice jednotlivých kinematických bodů

	bod	x [mm]	y [mm]	z [mm]
1.	LP_bod_A	-154,47	-5,49	219,44
2.	PP_bod_A	147,08	-13,28	218,23
3.	LZ_bod_A	-134,78	2331,85	144,87
4.	PZ_bod_A	225,64	2325,78	143,19
5.	LP_bod_B	-170,79	392,59	172,71
6.	PP_bod_B	187,48	381,62	174,49
7.	LZ_bod_B	-96,85	2727,19	170,55
8.	PZ_bod_B	195,95	2724,74	165,34
9.	LP_bod_C	-708,41	213,83	214,56
10.	PP_bod_C	710,51	183,92	207,31
11.	LZ_bod_C	-564,22	2615,22	192,24
12.	PZ_bod_C	675,42	2579,14	189,84
13.	LP_bod_D1	-261,66	63,39	-34,25
14.	LP_bod_D2	-262,24	63,31	-23,86
15.	LP_bod_D3	-263,43	63,44	-13,08



Tab. 3 Souřadnice jednotlivých kinematických bodů

16.	PP_bod_D1	254,85	47,88	-34,94
17.	PP_bod_D2	255,38	47,73	-24,05
18.	PP_bod_D3	256,85	47,88	-13,91
19.	LZ_bod_D1	-214,1	2360,46	-51,57
20.	LZ_bod_D2	-214,52	2360,35	-35,8
21.	LZ_bod_D3	-214,99	2360,29	-20,53
22.	PZ_bod_D1	307,36	2350,22	-54,81
23.	PZ_bod_D2	308,21	2350,09	-38,93
24.	PZ_bod_D3	309,03	2349,96	-23,65
25.	LP_bod_E1	-255,09	312,15	-30,86
26.	LP_bod_E2	-255,53	312,12	-20,33
27.	LP_bod_E3	-256,91	311,89	-10,02
28.	PP_bod_E1	264,49	298,09	-30,32
29.	PP_bod_E2	265,25	297,81	-20,3
30.	PP_bod_E3	266,3	297,45	-9,64
31.	LZ_bod_E1	-210,3	2675,97	-43,78
32.	LZ_bod_E2	-211,25	2675,27	-28,1
33.	LZ_bod_E3	-211,66	2674,74	-12,89
34.	PZ_bod_E1	306	2673,57	-54,16
35.	PZ_bod_E2	305,02	2673,44	-37,74
36.	PZ_bod_E3	306,22	2672,8	-22,56
37.	LP_bod_F	-663,09	226,08	-26,08
38.	PP_bod_F	661,4	193,93	-32,14
39.	LZ_bod_F	-523,34	2531,74	-46,85
40.	PZ_bod_F	623,76	2527,36	-57,75
41.	LP_bod_G	-648,74	307,89	-24,28
42.	PP_bod_G	650,71	276,48	-30,91
43.	LZ_bod_G	-520,07	2709,14	-39,35
44.	PZ_bod_G	623,43	2703,06	-31,93
45.	LP_bod_H	-247,03	396,23	-17,07
46.	PP_bod_H	269,24	384,11	-16,38
47.	LZ_bod_H1	-218,36	2704,28	-42,78
48.	LZ_bod_H2	-219,21	2703,61	-27,08
49.	LZ_bod_H3	-219,4	2703,14	-11,93
50.	PZ_bod_H1	311,81	2702,45	-53,2



Tab. 4 Souřadnice jednotlivých kinematických bodů

51.	PZ_bod_H2	313,17	2701,77	-37,8
52.	PZ_bod_H3	314,44	2701,11	-22,6
53.	LP_bod_I	-622,32	207,41	183,9
54.	PP_bod_I	620,52	184,69	178,77
55.	LZ_bod_I	-497,94	2607,66	155,94
56.	PZ_bod_I	585,42	2578,63	159,98
57.	LP_bod_J	-153,59	83,47	-13,6
58.	PP_bod_J	148,44	76,4	-13,49
59.	LZ_bod_J	-141,17	2492,62	-14,34
60.	PZ_bod_J	219,27	2488,1	-15,89
61.	LP_bod_K	-168,04	89,31	-74,4
62.	PP_bod_K	161,45	81,78	-76,17
63.	LZ_bod_K	-170,83	2500,72	-67,73
64.	PZ_bod_K	244,37	2498,61	-70,11
65.	LP_bod_L1	-105,7	66,83	-31,37
66.	LP_bod_L2	-91,85	62,02	-36,2
67.	LP_bod_L3	-76,65	56,72	-39,71
68.	LP_bod_L4	-61,37	51,38	-43,1
69.	PP_bod_L1	96,86	61,22	-29,78
70.	PP_bod_L2	84,51	57,62	-35,16
71.	PP_bod_L3	69,2	53,07	-37,91
72.	PP_bod_L4	53,54	48,43	-41,46
73.	LZ_bod_L1	-73,73	2469,89	-72,22
74.	LZ_bod_L2	-55,26	2463,77	-83,39
75.	PZ_bod_L1	150,1	2461,28	-73,31
76.	PZ_bod_L2	131,91	2454,18	-84,3
77.	LP_bod_M	-79,09	56,56	248,88
78.	PP_bod_M	74,3	53,46	248,16
79.	LZ_bod_M	-63,28	2471,06	218,55
80.	PZ_bod_M	143,03	2467,55	216,67



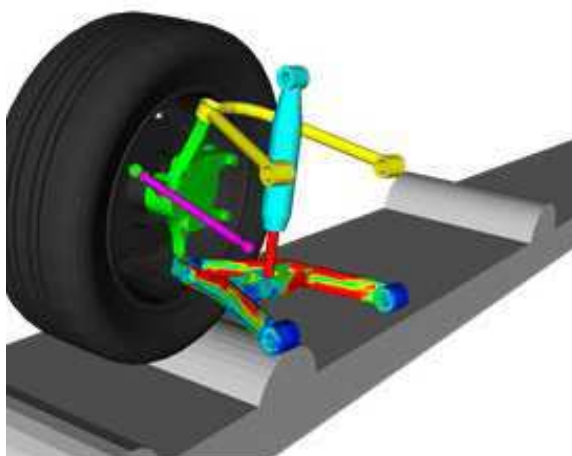
5 URČENÍ KINEMATICKÝCH CHARAKTERISTIK

Druhým úkolem zadání bylo vytvoření modelu přední a zadní nápravy pomocí kinematických bodů určených v softwaru GOM Inspect a zjištění kinematických parametrů jednotlivých kol Formule Faster Ford, následné zvolení optimálních hodnot a jejich průběh při zdvihu kola. Model náprav a simulace pohybu se vytvářely v programu MSC Adams. K nejdůležitějším charakteristikám, které se určovaly, byly změny rozchodu kol přední a zadní nápravy a změny odklonu, příklonu a sbíhavosti v závislosti na zvoleném zdvihu náprav.

5.1 SOFTWARE MSC ADAMS

Program Adams je nejpoužívanější multi-body systém pro modelování a simulaci mechanických soustav. Celý výpočtový systém se skládá z několika modulů, které lze používat samostatně a nezávisle na ostatních modulech. 3D model se vytváří pomocí tuhých nebo poddajných těles, které jsou mezi sebou provázány různými vazbami. K jeho hlavním funkcím patří statické, kinematické a dynamické analýzy pohybů u vytvořených modelů a jejich následná optimalizace.

Využití tohoto testování virtuálních prototypů komponentů, subsystému i kompletních zařízení prokazatelně šetří čas a finance v porovnání s běžnou konveční metodou „stavět a testovat“. Nejčastější oblastí použití je automobilový průmysl, zejména vývoj dynamiky u osobních i závodních vozidel, motocyklů a nákladních vozidel.



Obr. 67 Polonáprava měřena pomocí softwaru Adams [24]



5.2 VYTVOŘENÍ 3D MODELU NÁPRAV V PROSTŘEDÍ MSC ADAMS/VIEW

Model zavěšení přední a zadní nápravy skenovaného vozidla se vytvářel v modulu Adams/View. Tento modul umožňuje stavbu, vizualizaci a simulaci vytvořeného 3D modelu a závěrečné vyhodnocení naměřených dat.

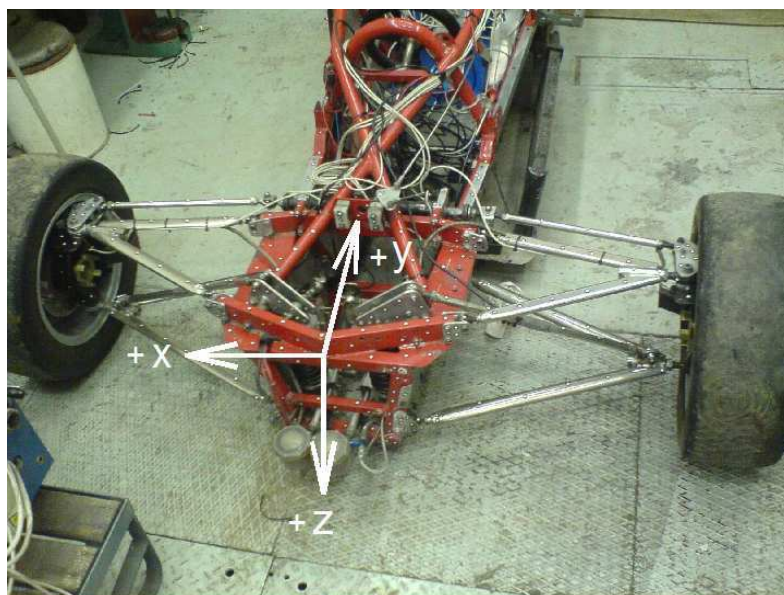
V prvním projektu se ze všech naskenovaných bodů vymodeloval podvozek Formule Faster Ford. Ve 3D modelu se zobrazily všechny části nápravy, které byly při skenování vozidla k dispozici. Tento model však nebyl určen pro zjišťování kinematických charakteristik, nýbrž pouze k vizualizaci a kontrole snímaných bodů. Další projekty se již týkaly určení kinematických charakteristik na přední a zadní nápravě.

5.2.1 SESTAVENÍ MODELU JEDNOTLIVÝCH NÁPRAV

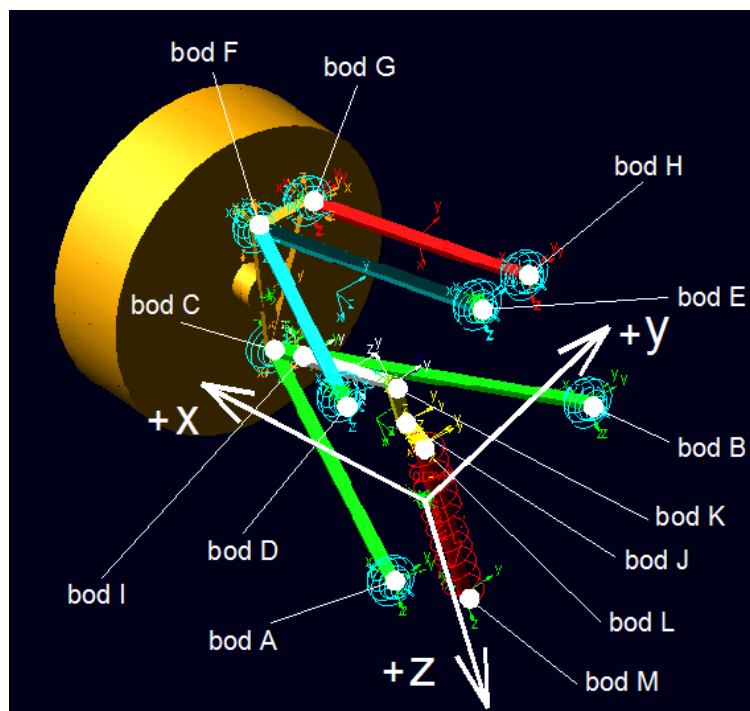
Po založení nového projektu v programu Adams/View se do tabulky pro vytváření bodů vypsaly souřadnice všech potřebných bodů, které byly nutné pro vytvoření modelu nápravy. Počátek souřadného systému se zvolil v přední části vozu (viz kapitola 4.2.4):

- kladná osa „x“ ve směru šířky vozidla k pravému přednímu kolu
- kladná osa „y“ ve směru délky vozidla k zadní části
- kladná osa „z“ orientovaná z počátku směrem k vozovce

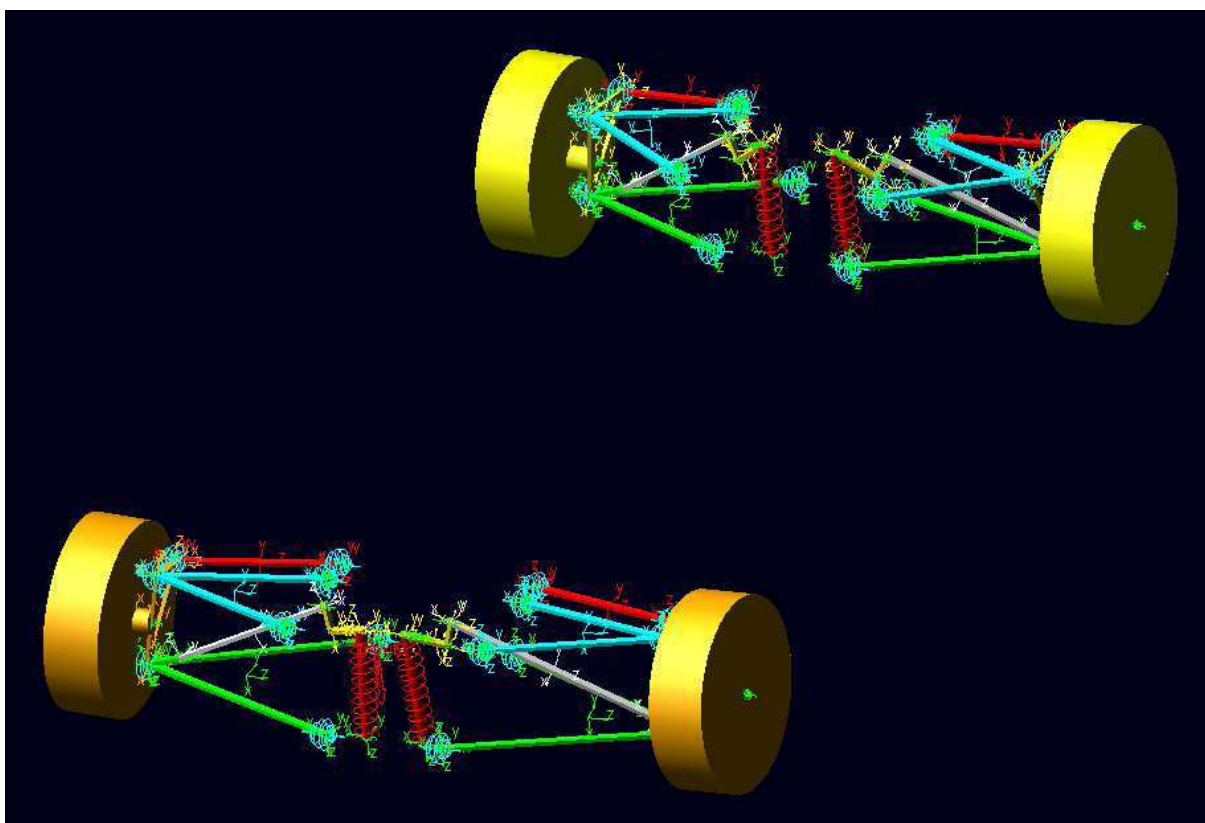
Směr gravitačního zrychlení se předefinoval z původního směru do směru kladné osy „z“.



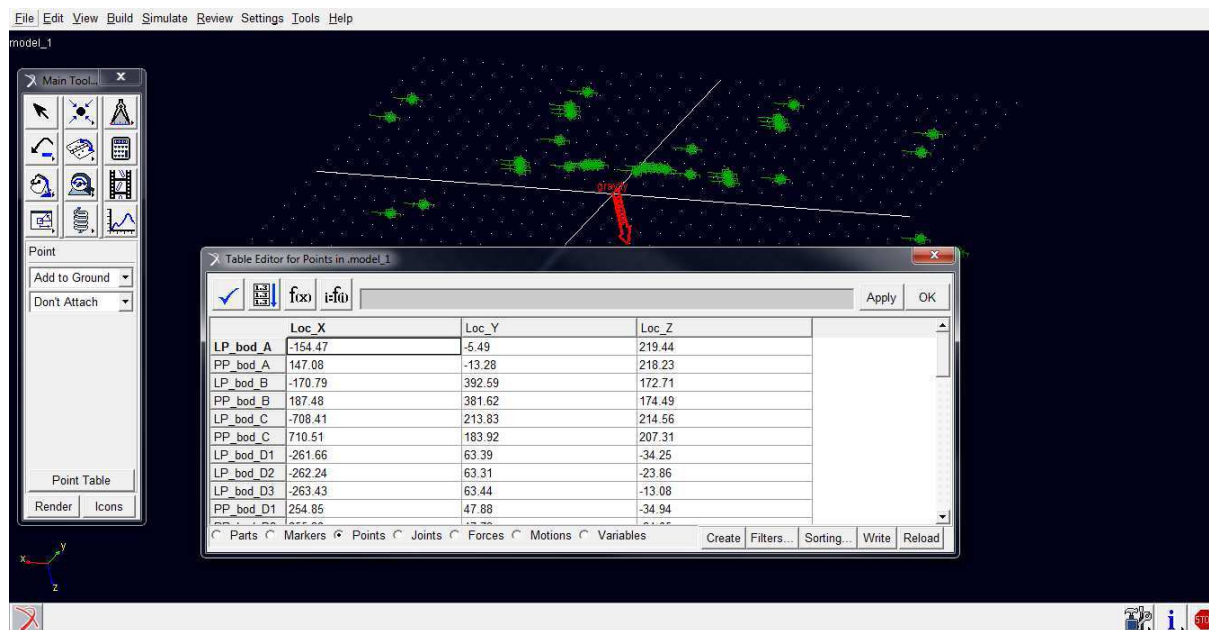
Obr. 68 Počátek souřadného systému na vozidle



Obr. 69 Model pravé přední polonápravy s popisem kinematických bodů

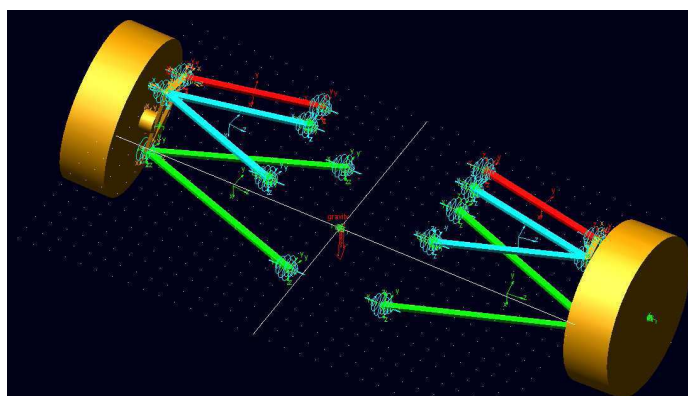


Obr. 70 Model podvozku Formule Faster Ford



Obr. 71 Zápis souřadnic kinematických bodů

Nyní se jednotlivé body spojí tuhými tělesy a vytvoří se 4 funkční celky – dolní a horní rameno, řídicí resp. spojovací tyč a těhlice. Tyto komponenty jsou v reálu propojeny klouby uniball, proto se mezi sebou spojí tomu odpovídající sférickou vazbou. Poté je celá polonáprava připojena také sférickou vazbou k rámu. Ostatní části nápravy, ke kterým patří tlačná tyč (pushrod), vahadlo (rocker), odpružení a stabilizátor nebyly do modelu zahrnuty, protože kinematické charakteristiky neovlivňují.



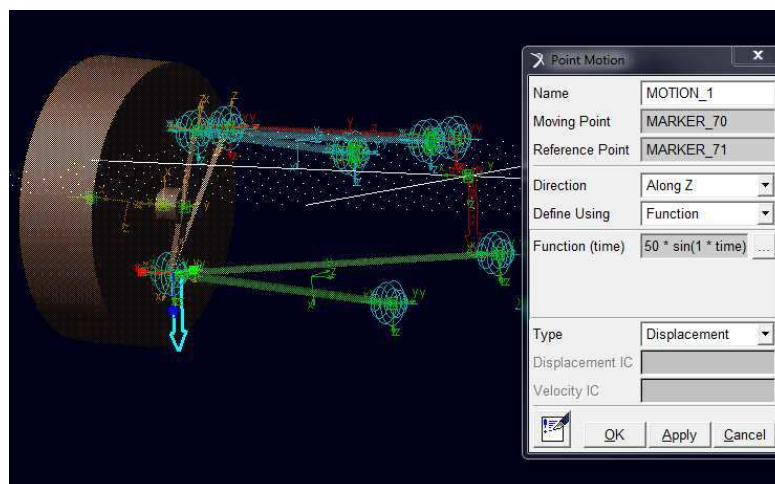
Obr. 72 Kinematický model přední nápravy

Jednotlivé části nápravy byly konstruovány zjednodušeně (např. těhlice se vytvořila spojením 3 kinematických bodů) a schematicky (např. velikost a tvar ramen neodpovídaly skutečným rozměrům). Toto zjednodušení nemá na pozdější vyhodnocení kinematických parametrů žádný vliv.

Aby se mohla sledovat změna kinematických charakteristik v určitém rozsahu propružení, bylo nutné ještě doplnit model nápravy o prvek „Point Motion“, který uvede celou soustavu



do pohybu. Umístil se do bodu „C“ (pro obě polonápravy), což je bod spojení dolního ramene s těhlicí. Rozsah propružení se zvolil +/- 50mm od počáteční (nulové) polohy, tedy větší, než jaký je ve skutečnosti, aby byla změna kinematiky dostatečně zřejmá.



Obr. 73 Definování pohybu (změny zdvihu) polonápravy

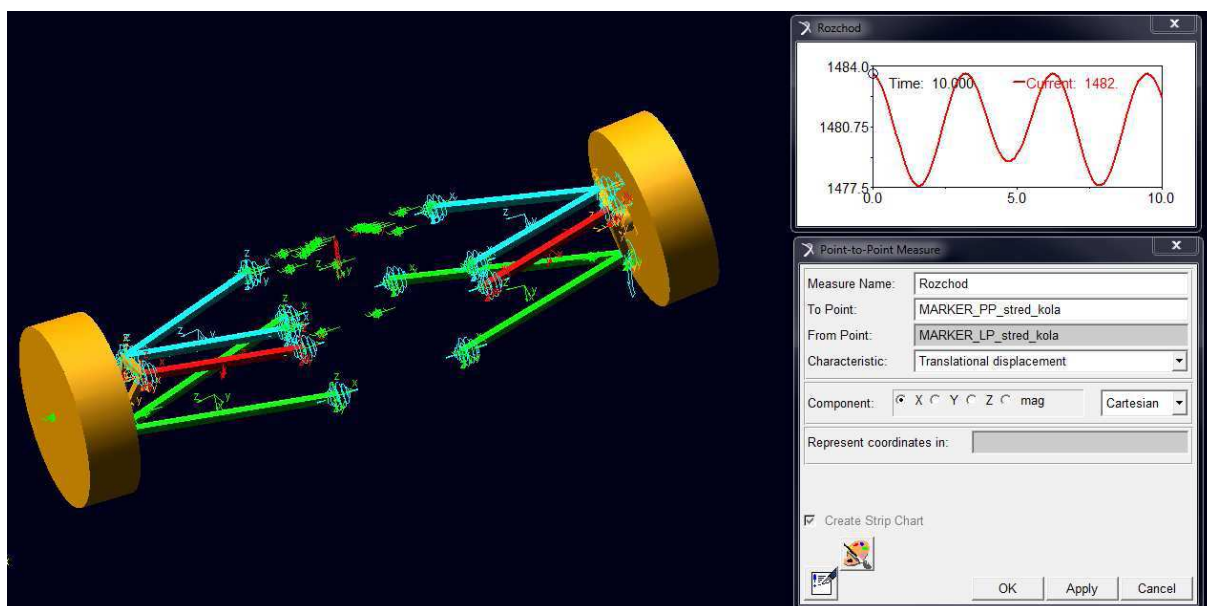
Posledním úkolem bylo nadefinování pomocných souřadných systémů tzv. „MARKERů“. Používají se pro definici lokálního souřadného systému různých těles, vazeb a působících sil. Pro každý projekt se vytvořilo několik MARKERů, ale pro definici jednotlivých měření se používaly pouze dva. První se umístil vždy do počátku souřadného systému a byl spojen pevně s rámem vozu a druhý se umisťoval dle potřeby (podle měřené charakteristiky) a byl spojen s pohybující se těhlicí.

5.2.2 URČENÍ JEDNOTLIVÝCH KINEMATICKÝCH CHARAKTERISTIK

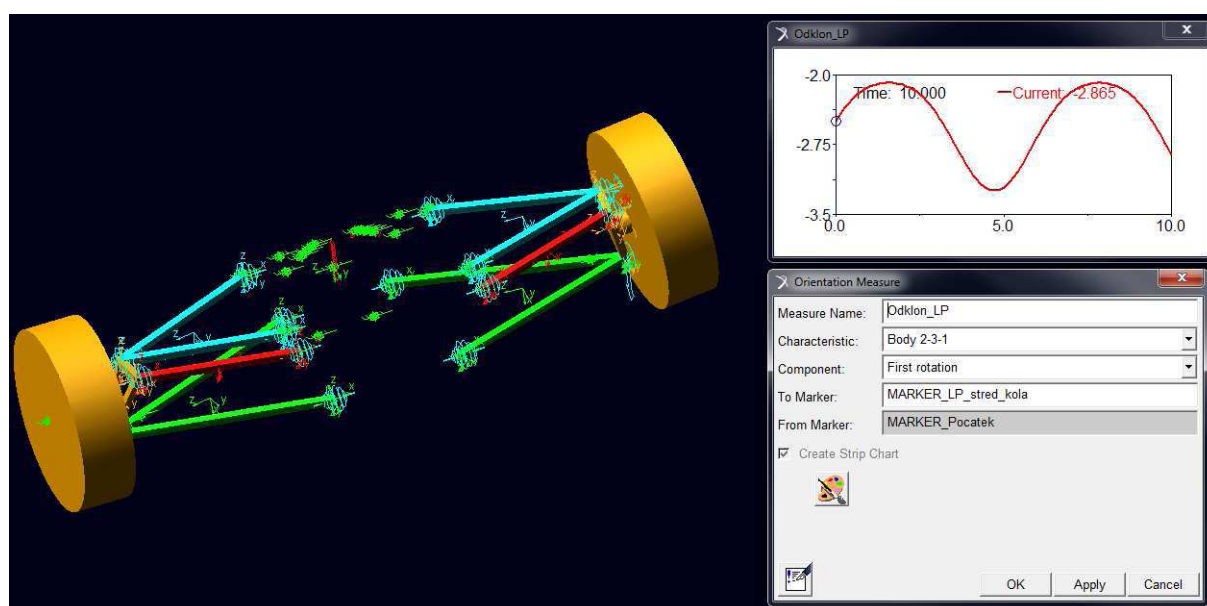
Při měření kinematických charakteristik se určovala změna rozchodu kol na přední a zadní nápravě a dále změna odklonu, příklonu a sbíhavosti na jednotlivých kolech. Používaly se 2 typy měření - měření „Point-to-point“ (udává vzájemnou polohu) a měření „Orientation“ (udává vzájemné natočení os).

Pro změnu rozvoru se použil typ „Point-to-point“ a určující „MARKERY“ byly umístěny do středu levého a pravého kola. Poté se určila osa, ve které chceme změnu hodnot sledovat, v tomto případě se jednalo o osu „x“.

Pro změnu odklonu, příklonu a sbíhavosti při zdvihu kola se použil typ „Orientation“, který určovaly „MARKERY“, jeden umístěný v počátku souřadného systému a druhý ve středu právě měřeného kola. Dále se muselo zadat pořadí vzájemného natočení os, v tomto případě pořadí 2 - 3 - 1 (1-osa „x“, 2-osa „y“ a 3-osa „z“). V poslední části nastavení tohoto měření se zvolila osa, kolem které měřený parametr rotuje.



Obr. 74 Definování parametrů pro změnu rozchodu kol



Obr. 75 Definování parametrů pro změnu odklonu kola

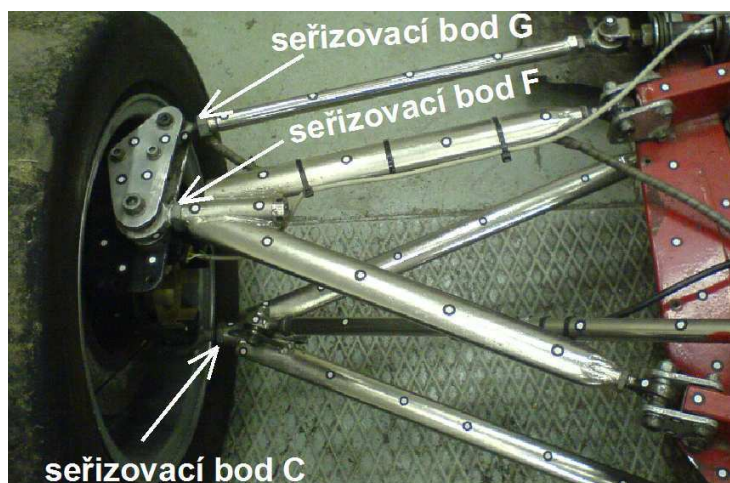
5.2.3 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

V Tab. 5 jsou uvedeny naměřené hodnoty kinematických parametrů u jednotlivých kol přední resp. zadní nápravy. Dle těchto hodnot je zřejmé, že u měřené Formule Faster Ford nejsou parametry geometrie vhodně nastaveny. To bylo způsobeno tím, že se na vozidle provádí časté úpravy a měření, a poté nejsou důležité parametry kontrolovány, nebo seřizeny.

Tab. 5 Naměřené kinematické parametry (hodnoty geometrie) na vozidle

	LP kolo	PP kolo	LZ kolo	PZ kolo
Rozchod kol	1486mm		1364mm	
Odklon kola	-2,3°	-3,3°	-1,3°	-1,8°
Sbíhavost kola	0°	-2,3°	1,3°	0,1°
Příklon rejdové čepu	10,2°	11,4°	10,2°	12,2°

Určovat průběh kinematických charakteristik u neseřizené nápravy by nebylo vhodné, proto se po domluvě s vedoucím práce se stanovily optimální hodnoty těchto charakteristik (Tab. 6), pro které se zjišťoval jejich průběh při zdvihu kola. K nastavení parametrů geometrie se používají seřizovací šrouby, které jsou součástí horního a dolního trojúhelníkového ramene a řídící resp. spojovací tyče (Obr. 76).



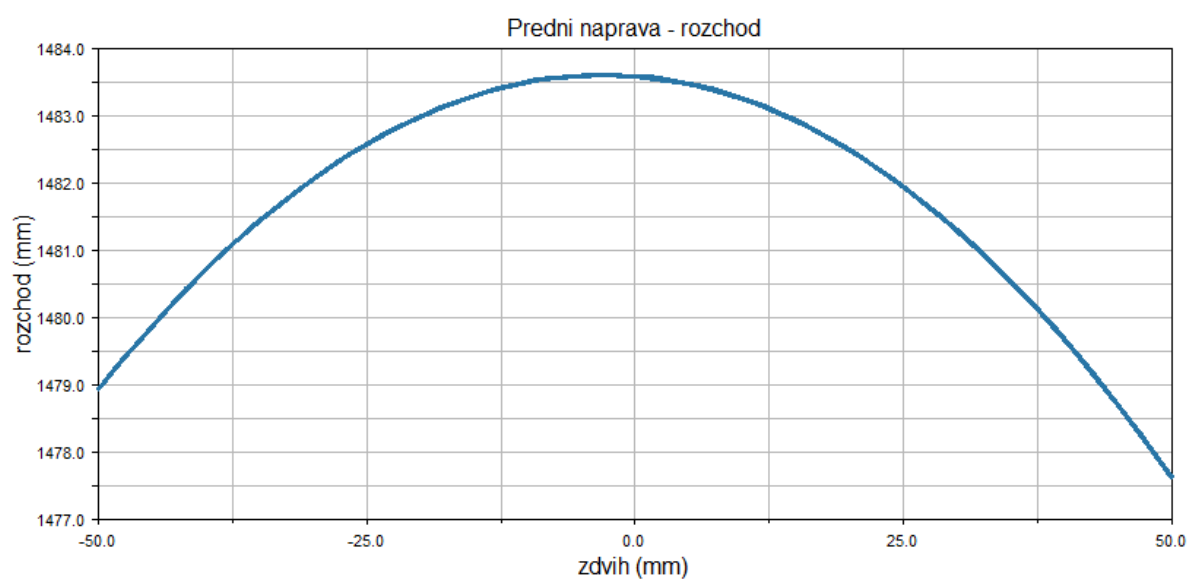
Obr. 76 Seřizovací body lichoběžníkové nápravy

Tab. 6 Zvolené kinematické parametry

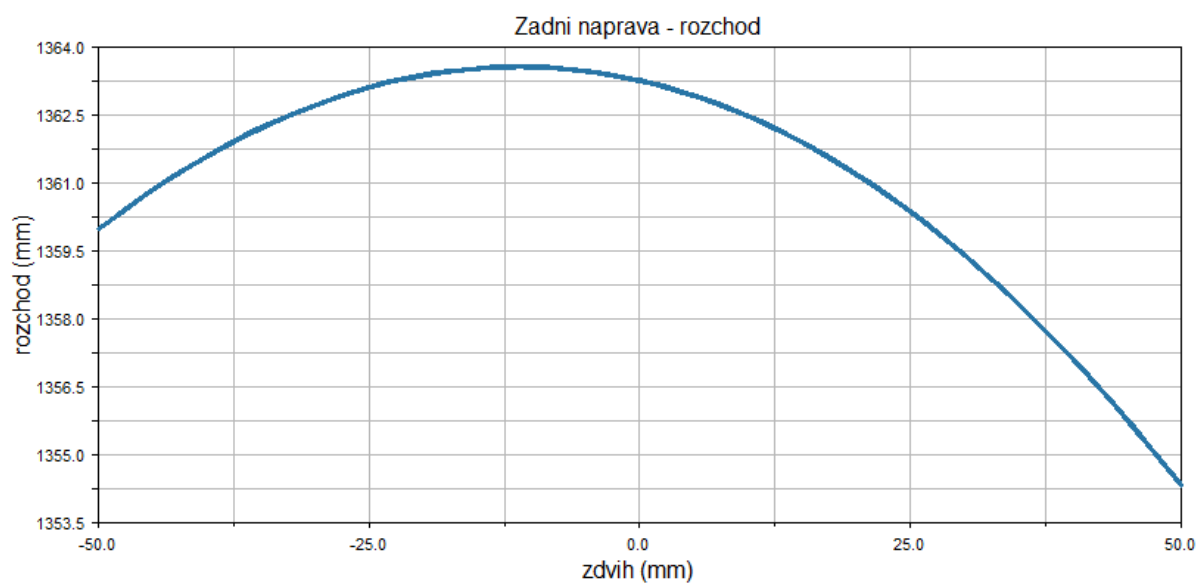
	LP kolo	PP kolo	LZ kolo	PZ kolo
Rozchod kol	1484mm		1363mm	
Odklon kola	-2,5°	-2,5°	-1,5°	-1,5°
Sbíhavost kola	0°	0°	0°	0°
Příklon rejdové čepu	10°	10°	10°	10°



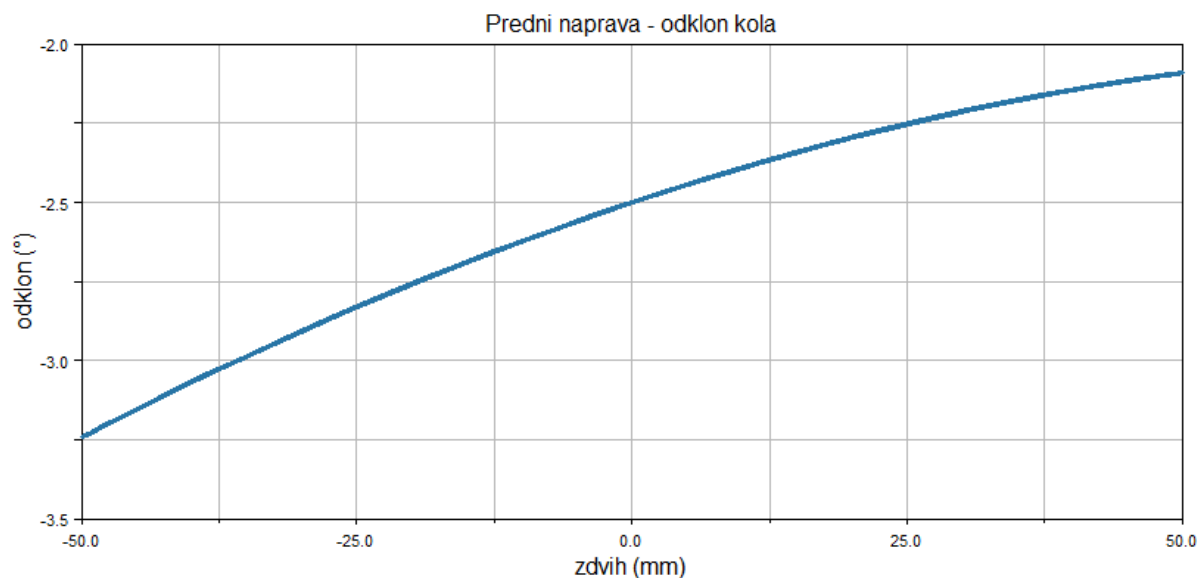
- průběhy kinematických parametrů při změně zdvihu kola



Obr. 77 Průběh změny rozchodu kol na přední nápravě



Obr. 78 Průběh změny rozchodu kol na zadní nápravě

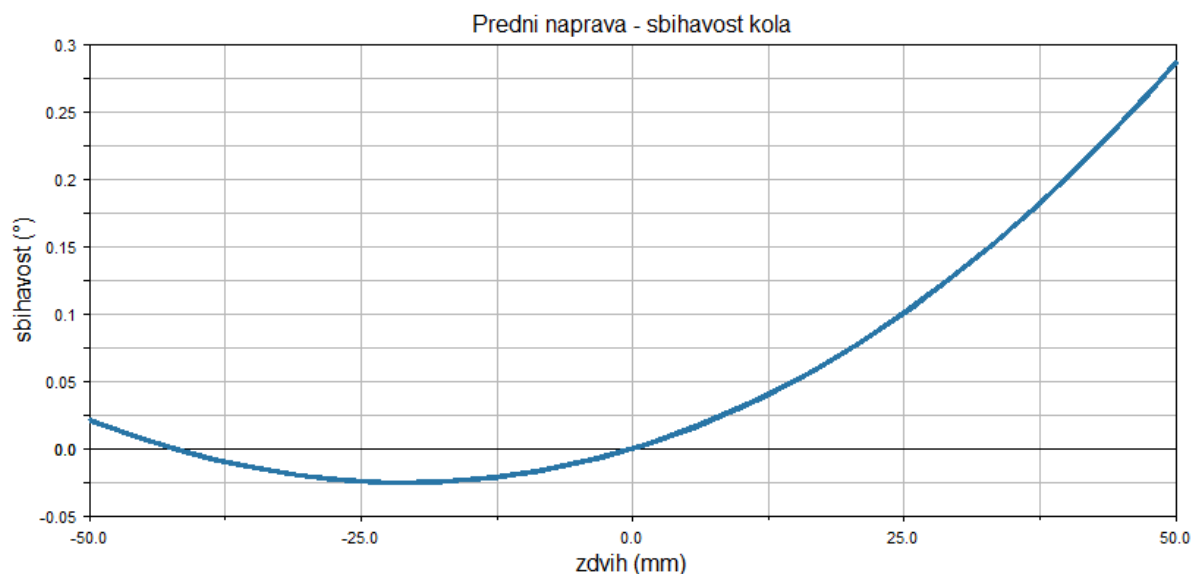


Obr. 79 Průběh změny odklonu kola na přední nápravě

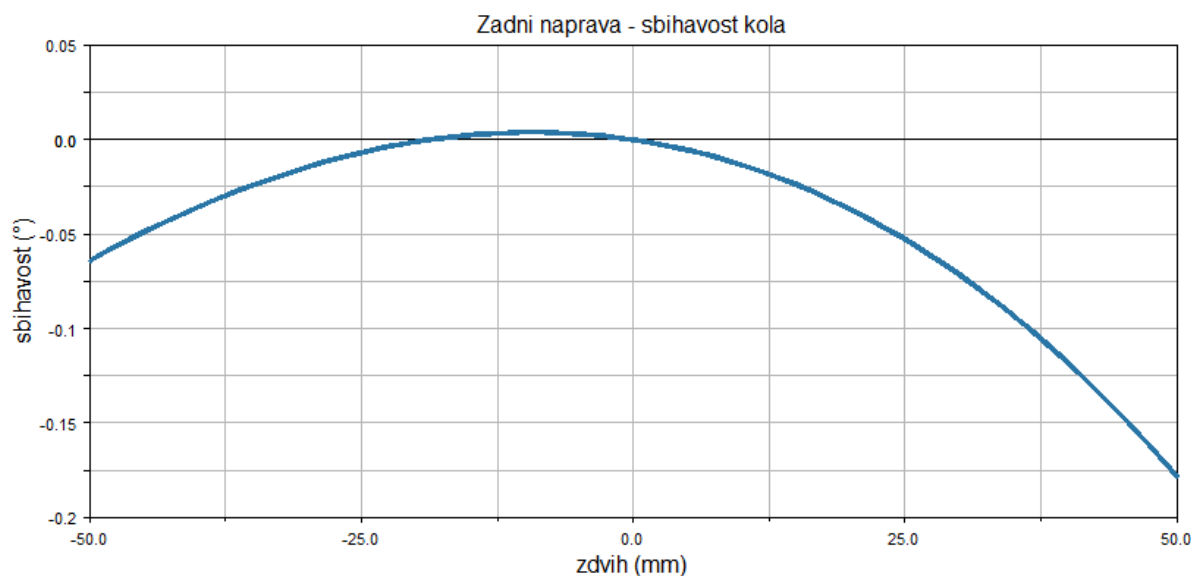


Obr. 80 Průběh změny odklonu kola na zadní nápravě

U Formule Faster Ford je nastaven záporný odklon kola (tzv. příklon kola) z toho důvodu, aby se pneumatika při průjezdu zatáčkou dotýkala celou svou plochou vozovky a byla schopna přenést co největší laterální (příčné) síly. Kdyby nebyl nastaven příklon kola, došlo by k velké ztrátě přilnavosti kola. Z toho důvodu se u sportovních vozidel nastavuje záporný odklon kola. Nevýhodou tohoto nastavení je větší zahřívání vnitřní části pneumatiky a tím vyšší opotřebení.



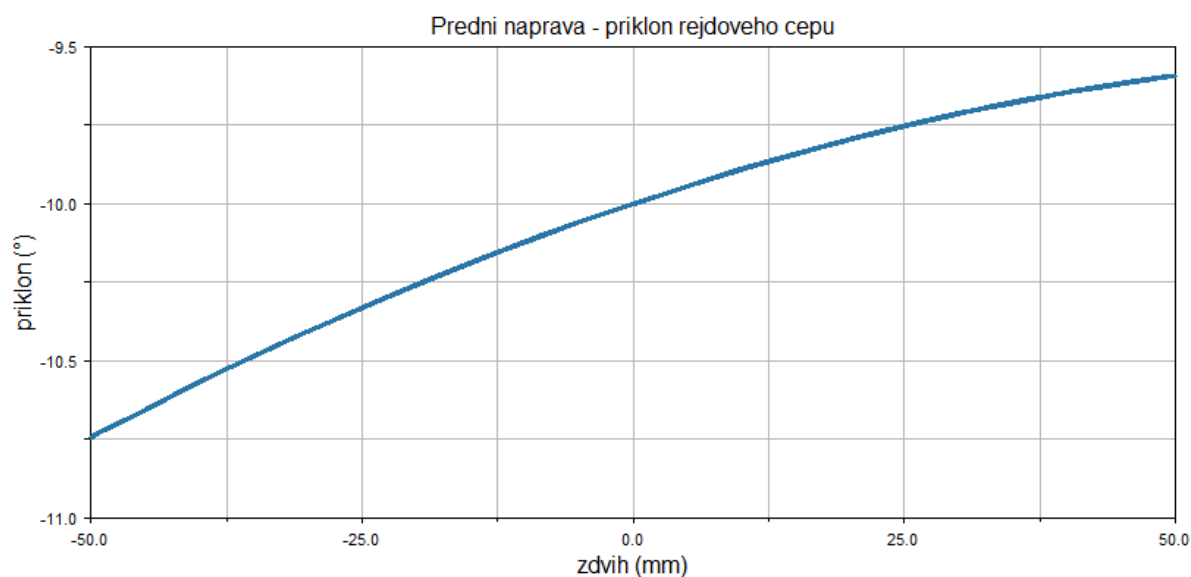
Obr. 81 Průběh změny sbíhavosti kola na přední nápravě



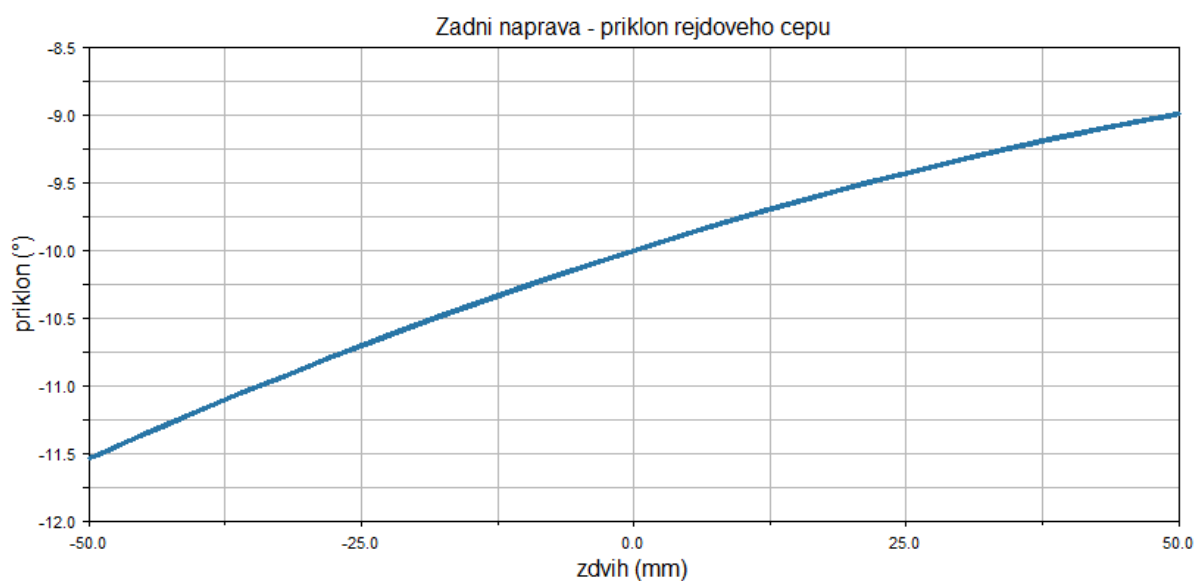
Obr. 82 Průběh změny sbíhavosti kola na zadní nápravě

U sériových vozidel se nastavuje na přední nápravě mírná sbíhavost z důvodu, aby byla zaručena stabilita a přesnost jízdy ve vysokých rychlostech. U závodních vozidel se ale nehledí na komfort jízdy, ale prioritní je vyšší adheze při zatáčení, proto se volí nulová, nebo záporná sbíhavost (rozbíhavost). Nastavená rozbíhavost zaručuje, že se vnitřní kolo natočí o vyšší úhel - o úhel rozbíhavosti. To má pozitivní dopad na přilnavost v zatáčce, protože vnitřní kola se pohybují po menším poloměru než kola vnější a je třeba, aby zatáčely více.

Z grafů lze vyčíst, že změna sbíhavosti je v celém rozsahu propružení kola minimální, a proto optimalizace polohy bodů řídicí tyče není nutná.



Obr. 83 Průběh změny příklonu rejdového čepu na přední nápravě



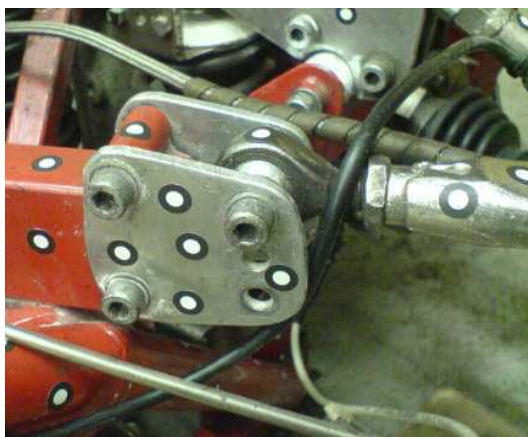
Obr. 84 Průběh změny příklonu rejdového čepu na zadní nápravě

Nastavení příklonu rejdového čepu je úzce spjato s odklonem kola. Změna příklonu vždy způsobí i změnu odklonu kola. Při zvětšení kladného odklonu kola se zmenšuje příklon a naopak menší kladný nebo záporný odklon kola způsobí zvětšení příklonu. Při správném nastavení odklonu kola je zároveň správně seřízen i příklon rejdového čepu.



- **zjištění středu klopení přední a zadní nápravy**

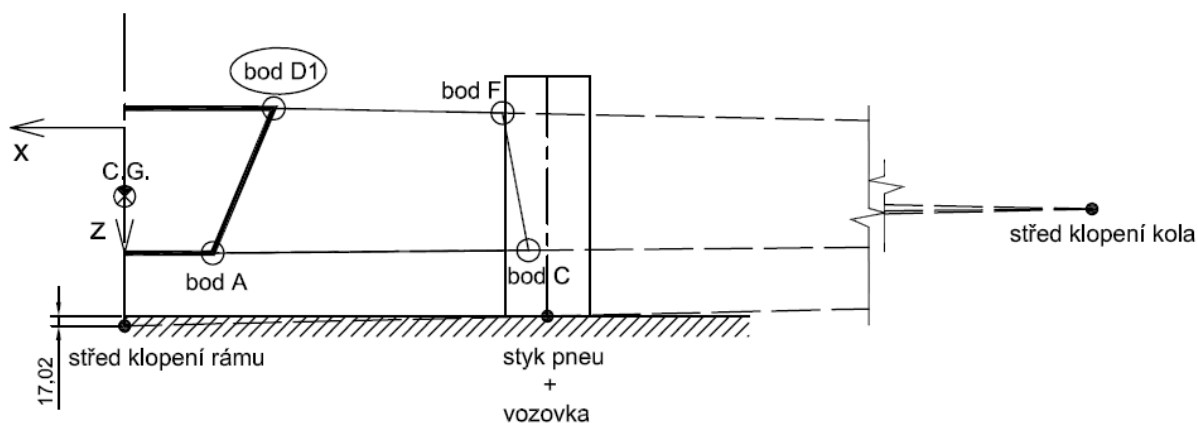
Výhodou lichoběžníkové nápravy je, že lze střed klopení a klonění karoserie měnit díky stavitelným příčným ramenům. U Formule Faster Ford je možné uchycení horního ramene ve třech polohách. Na obrázcích níže je ukázáno, jak se mění střed klopení rámu pro jednotlivé polohy zavěšení horního ramene. Konstrukce středu klopení kola a rámu je popsána v kapitole 2.6.



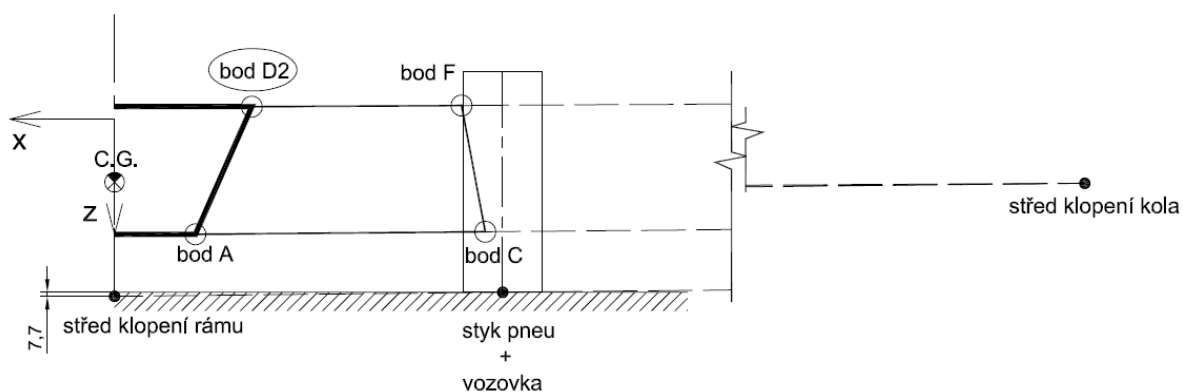
Obr. 85 Polohy zavěšení horního ramene

- vliv změny zavěšení horního ramene **přední** nápravy na polohu středu klopení rámu

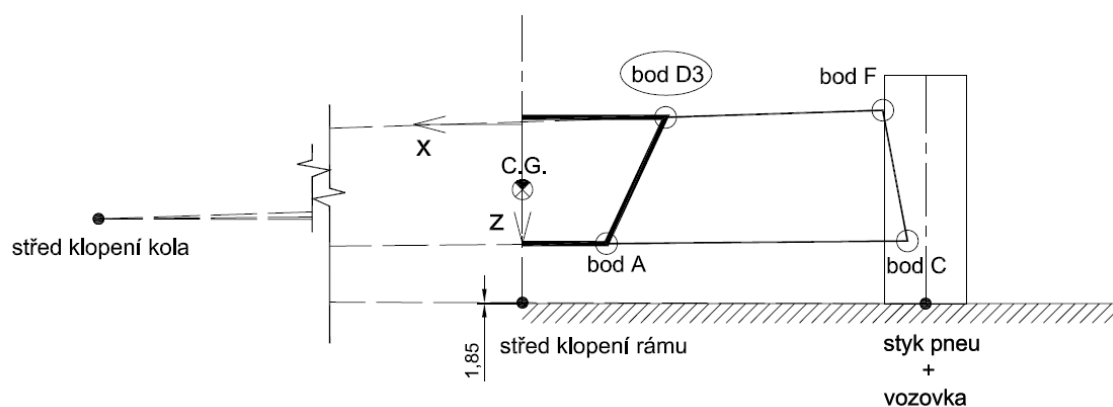
Uložení v bodě D1 (horní poloha):



Obr. 86 Poloha středu klopení rámu 17,02mm pod vozovkou


Uložení v bodě D2 (střední poloha):


Obr. 87 Poloha středu klopění rámu 7,7mm pod vozovkou

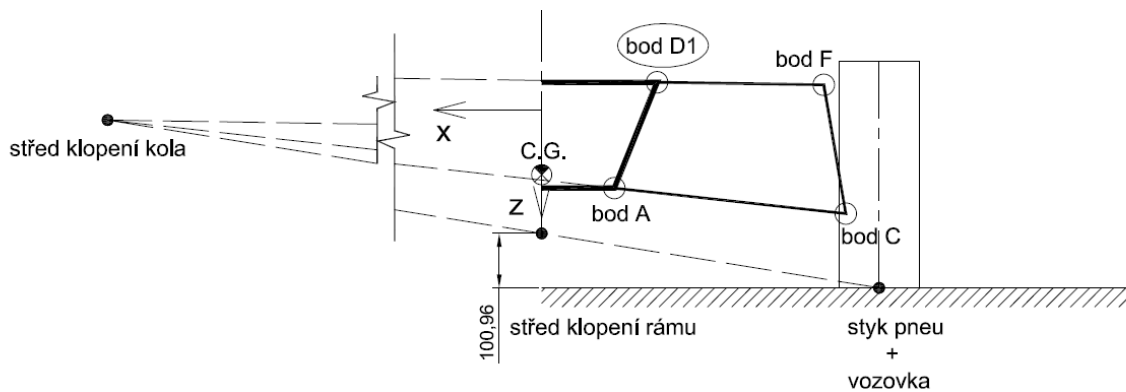
Uložení v bodě D3 (dolní poloha):


Obr. 88 Poloha středu klopění rámu 1,85mm nad vozovkou



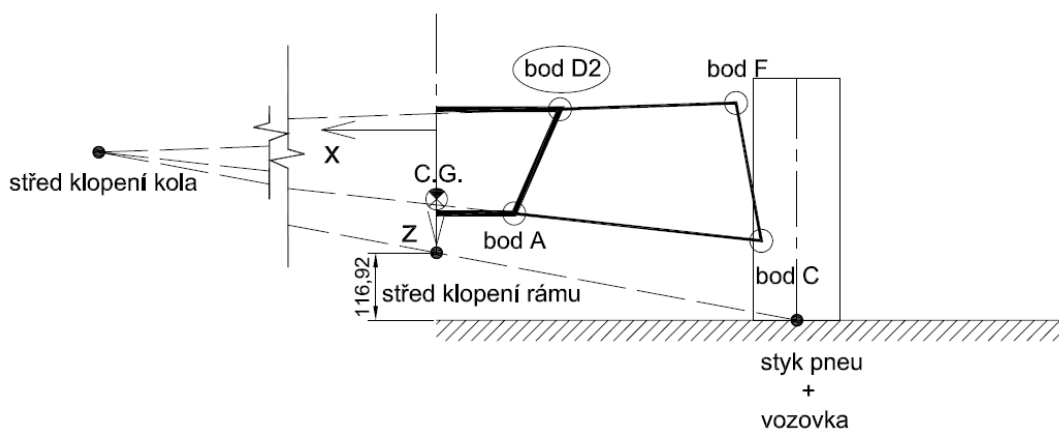
- vliv změny zavěšení horního ramene **zadní** nápravy na polohu středu klopení rámu

Uložení v bodě D1 (horní poloha):



Obr. 89 Poloha středu klopení rámu 100,96mm nad vozovkou

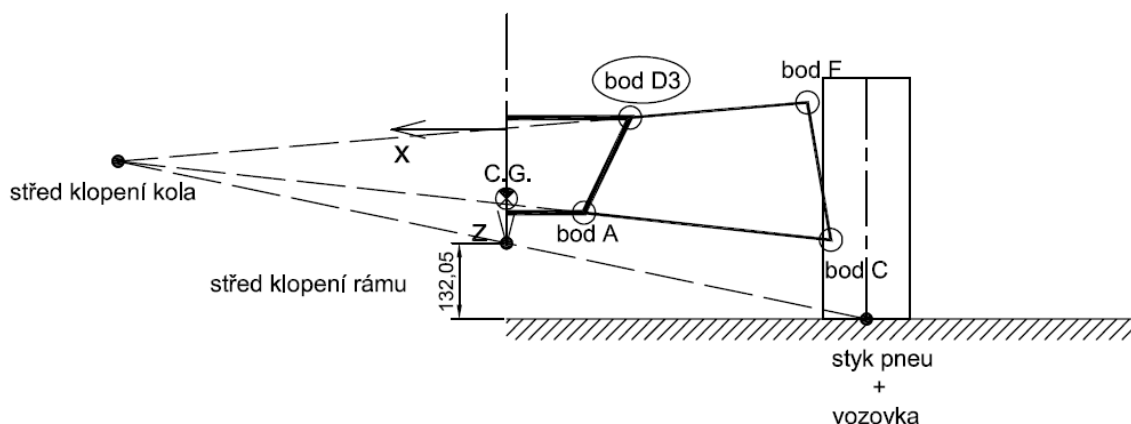
Uložení v bodě D2 (střední poloha):



Obr. 90 Poloha středu klopení rámu 116,92mm nad vozovkou



Uložení v bodě D3 (dolní poloha):



Obr. 91 Poloha středu klopení rámu 132,05mm nad vozovkou

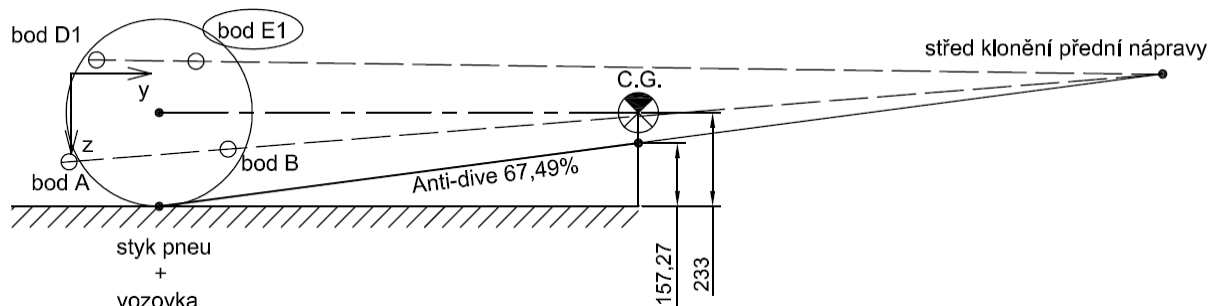
Při porovnání přední a zadní nápravy je z pohledu polohy středu klopení lépe navržena zadní náprava, protože se tento střed pohybuje ve všech polohách nad vozovkou, ve svislé vzdálenosti je blíže umístěn těžišti vozidla a tím snižuje klopný moment karoserie (odstředivá síla působí na menším rameni). Výhodou uspořádání přední nápravy je to, že okamžitý střed klopení kola leží ve velké vzdálenosti od kola a tím vznikají při propružení kola malé změny rozchodu a odklonu.

- zjištění středu klonění přední a zadní nápravy

Po domluvě s vedoucím diplomové práce se těžiště zvolilo ve výšce středů kol a uprostřed rozvoru kol přední a zadní nápravy. Střed klonění přední a zadní nápravy je určen podobně, jako u klopení kol - vzájemným sklonem horního a dolního ramene ve střední podélné rovině vozidla. Pro jednotlivé polohy zavěšení horního ramene se zjišťují hodnoty anti-dive pro přední nápravu a hodnoty anti-squat pro zadní nápravu. Tyto hodnoty jsou dány poměrem výšky těžiště, kterou rozděluje přímka, spojující styk kola s vozovkou a střed klonění kola.

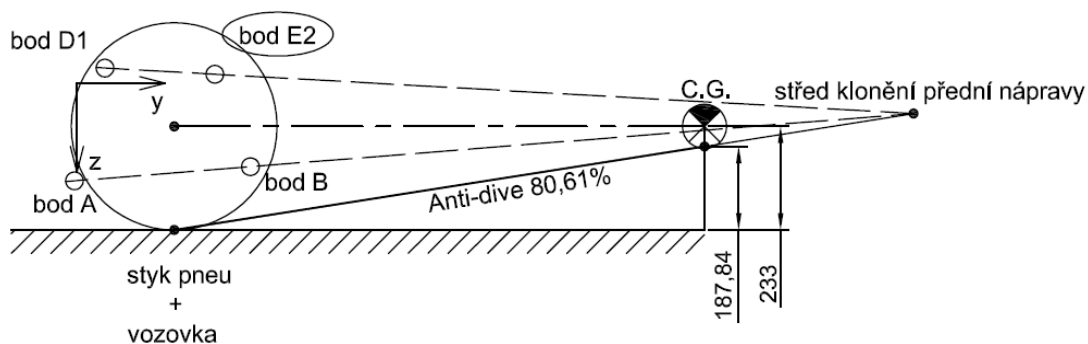
- vliv změny zavěšení horního ramene **přední** nápravy na hodnotu Anti-dive

Uložení v bodě D1, E1:



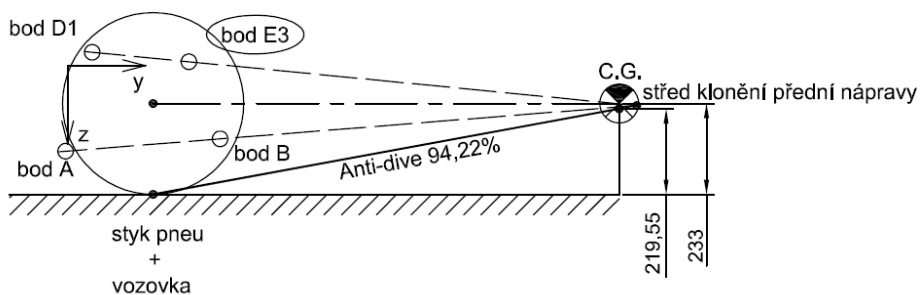
Obr. 92 Hodnota Anti-dive 67,49%

Uložení v bodě D1, E2:



Obr. 93 Hodnota Anti-dive 80,61%

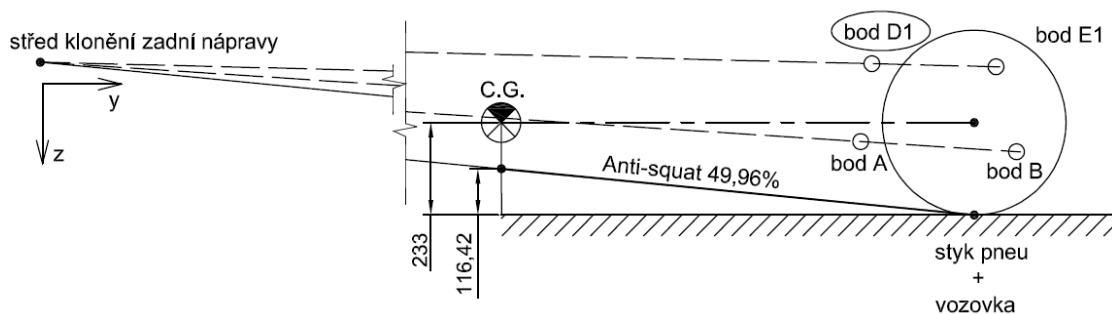
Uložení v bodě D1, E3:



Obr. 94 Hodnota Anti-dive 94,22%

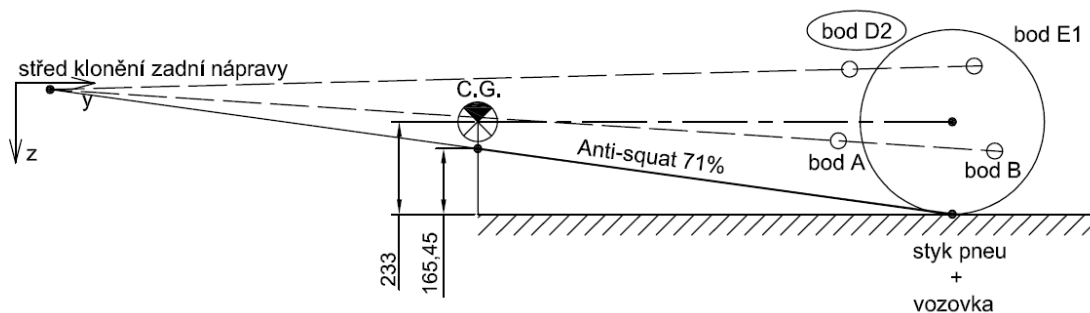
- vliv změny zavěšení horního ramene **zadní** nápravy na hodnotu Anti-squat

Uložení v bodě D1, E1:



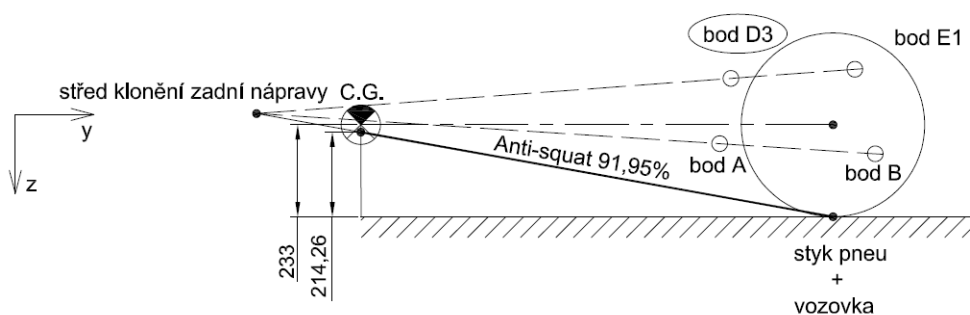
Obr. 95 Hodnota Anti-squat 49,96%

Uložení v bodě D2, E1:



Obr. 96 Hodnota Anti-squat 71%

Uložení v bodě D3, E1:



Obr. 97 Hodnota Anti-squat 91,95%



Aby se docílilo minimálního předklánění karoserie při brzdění a zaklánění při zrychlení, tak je nutné, aby výška středu klonění ležela ve stejné výšce jako výška těžiště - tzn. hodnota anti-dive a anti-squat je 100%. Tím setrvačná síla působí na nulovém rameni a nevzniká žádný moment klonění.

Změna středu klonění u Formule Faster Ford se na přední nápravě prováděla sklonem horního ramene vůči zadnímu a to tak, že kinematický bod D se neměnil a ramenem se posunovalo v bodech E1, E2 a E3 (Obr. 92, 93 a 94). U zadní nápravy se naopak neměnila poloha bodu E a sklon ramene se prováděl změnou polohy bodů D1, D2 a D3 (Obr. 95, 96 a 97). Nejvýhodnější sklon u přední nápravy je dán polohami kinematických bodů D1 a E3, hodnota anti-dive je 94,22% a u zadní nápravy je dán body D3 a E1, hodnota anti-squat je 91,95%. V těchto polohách horních ramen dochází k minimálnímu předklánění karoserie při brzdění, resp. zaklánění při akceleraci.



6 VYUŽITÍ SCANNERU ATOS PŘI BĚŽNÉM MĚŘENÍ GEOMETRIE

Posledním úkolem diplomové práce bylo navrhnout řešení, při kterém by se dalo využít 3D optického skeneru ATOS pro běžné určení geometrie kol vozidla. V této práci bylo použito zařízení ATOS společně se systémem TRITOP ke zjištění geometrie kol pro nekapotované vozidlo. Nezbytnou součástí měření byla demontáž jednotlivých komponentů nápravy z důvodu zaměření jednotlivých bodů zavěšení a důležitých rovin (např. rovina kotoučů). V návrhu řešení se ale vyžaduje použití pouze systému ATOS, kterým by se dala určit geometrie kol u osobních vozidel v běžných servisech. Zde je požadováno, aby se komponenty náprav nemusely demontovat z důvodu časové a tím i finanční náročnosti. To je hlavní rozdíl mezi běžným (konvenčním) způsobem určení geometrie náprav a experimentálním měřením, pomocí kterého se zjišťovaly důležité parametry v této práci.

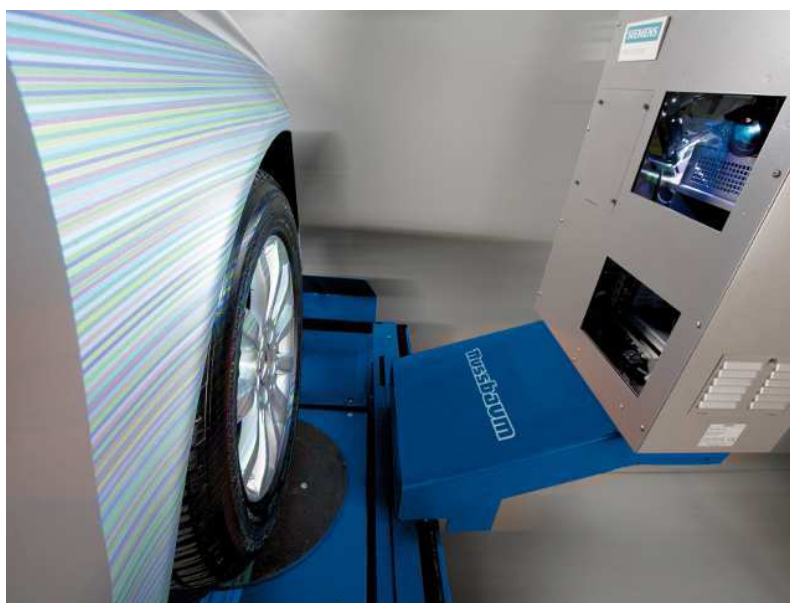
V praxi nepoužívanějším řešením bývá najetí vozidla na zvedací plošinu a následné určení parametrů geometrie dle použitého druhu měřících přístrojů a zařízení. Nejnovější systémy již nevyžadují umísťování projekčních a snímacích zařízení na ráfky kol, ale k určení parametrů geometrie stačí projetí kolem snímacího zařízení. Součástí plošin bývají otočně posuvné desky, z důvodu minimalizace deformací pneumatik (při natáčení kol do rejdu), protože by jinak mohlo dojít ke zkreslení výsledků měření. Pro správné a přesné měření se dále ještě musí kontrolovat, zda je vozidlo zatížené dle předpisu výrobce (správná výška vozidla nad vozovkou), tlak v pneumatikách odpovídá předepsaným hodnotám a jsou-li vymezeny vůle v řízení.

Optickým skenerem ATOS je možné nasnímat roviny kol i rovin, ke kterým by se potřebné hodnoty vztahovaly (např. rovina vozovky). Problém nastává v určení číselných hodnot měření, protože je není možné získat okamžitě po nasnímání, ale až při následném zpracování v jiném módu vyhodnocujícího softwaru. Hlavní nevýhodou je především to, že software ATOS není primárně určen k okamžitému vyhodnocování naskenovaných snímků, protože software musí nejprve provést spojení všech snímků, určení jejich přesnosti a až poté je možnost dalšího zpracování. Také zde není zajištěno naměřené hodnoty porovnávat s hodnotami předepsané výrobcem, což je dáno tím, že zařízení ATOS není určeno výhradně pro měření geometrie, ale pro získání 3D modelu reálných objektů. Dalším problémem nastává, jak zajistit dostatečnou pohyblivost, ale i potřebnou tuhost (z hlediska přesnosti) snímací hlavy skeneru ATOS vůči vozidlu, které je umístěno na plošině, z pohledu vysoké produktivity při měření. Při skenování také nelze vyloučit chybu, která může vzniknout házivostí kol, nebo poškozením ráfku. Z těchto důvodů je tedy třeba zvolit jiné zařízení, které pracuje na stejném popř. podobném principu a je schopno splnit požadavky pro zajištění správného určení geometrie kol u osobních vozidel v běžných servisech.



6.1 ZAŘÍZENÍ WAB 02 CCT NUSSBAUM

Podobně jako 3D optický skener ATOS je i zařízení WAB 02 CCT od firmy Nussbaum založené na principu triangulace, pomocí které dochází ke zpracování vytvořeného snímku daného předmětu (např. ráfku kola) a následné vyhodnocení, jehož výsledkem je 3D kódovaný obraz. Tento celý měřicí systém se vyznačuje svou rychlostí, se kterou je určena samotná geometrie kol, vysokou přesností dosažených výsledků a také jednoduchostí z pohledu obsluhy. Vysokým přínosem z hlediska přesnosti je to, že se jedná o zcela bezkontaktní měření, tím odpadají přípravné práce s umisťováním snímacích hlav a terčů k ráfku kola, protože se jedná o mechanické upevnění, je zde možnost vzniku chyby a tím i snížení přesnosti celého měření.



Obr. 98 Měřicí sonda pojíždějící podél plošiny [27]

6.1.1 JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY MĚŘÍCIHO SYSTÉMU

Elektronicky souběžně řízená vysokozdvíhná plošina, vyznačující se zastavením ve kterékoliv poloze, umožňuje vysoce precizního měření v každé výšce. Tím dává možnost seřízení potřebných komponentů nápravy a okamžité určení parametrů geometrie nápravy. Interaktivní zabezpečující systém garantuje jistotu (zastavení, udržení dané polohy) ve všech výškách a zajišťuje souběžné elektronické a hydraulické řízení (zvedání) mezi oběma nájezdovými plošinami zvedáku.

Součástí vysokozdvíhné plošiny jsou otáčející se posuvné desky, kterými lze v daném okamžiku pneumatiky zablokovat, nebo poté uvolnit dle potřeby měření. Posunem desek jsou obě kola jednotlivých náprav pevně fixována a tím je zajištěna plně automatická kompenzace házivosti kol. Pro natočení kol do pravého a levého rejdu jsou desky naopak uvolněny. Díky své vysoké nosnosti 1500kg/na jednu desku umožňuje měření geometrie kol všech osobních vozidel.

Podél plošiny jsou přesně vedeny dvě modulárně sestavené měřicí sondy, které se pohybují v kolejničích.



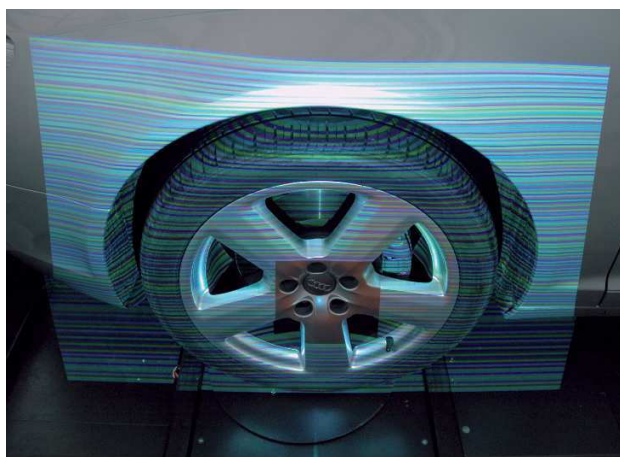
Obr. 99 Vysokozdvížná plošina s měřicími sondami[27]

K porovnání naměřených hodnot, nebo k seřazení dle optimálních dat slouží vozidlová databáze. Umožňuje rychlé roztrídění podle různých značek. Vozidla lze seřadit podle výrobního nebo obchodního označení. V uživatelské databázi mohou být obsažena data i o speciálních vozidlech. Po provedení měření a určení parametrů geometrie lze tyto hodnoty nebo protokoly o měření uložit do zákaznické databáze a kdykoliv dle potřeby si je zpětně vyvolat.

6.1.2 PRINCIP MĚŘENÍ – COLOUR CODED TRIANGULATION (CCT)

S tímto barevně kódovaným zaměřováním (CCT) pracuje firma Siemens již delší dobu v oblasti rozpoznávání obličejů. Pro zvýšení přesnosti a flexibility stávajících systémů převzala právě firma Siemens inovaci tohoto zařízení. Cílem vývoje bylo vytvořit takový měřicí systém, pomocí něhož se budou moci stanovit důležité parametry geometrie náprav a současně se docílí vysoce přesných výsledků při měření. Výsledkem tohoto vývoje byla měřicí sonda Sidis 3D cam, kterou firma Nussbaum začlenila do nejnovější generace svých produktů WAB.

Principem 3D měření objektů pomocí CCT je, že projektor promítá světlo (barevné čáry), které dopadá šikmo na objekt. Kamera, která je umístěna kolmo k měřenému objektu, snímá nasvícený předmět. Pokud je objekt rovný, zobrazují se promítané čáry projektoru na kameře jako přímé čáry. Je-li objektem válcová nebo kulová plocha, kamera zaznamená čáry zakřivené.



Obr. 100 Promítání barevných čar na snímáný objekt[27]



Jednotlivé čáry jsou tvořeny mnoha body, které kamera zachytí a zobrazí je ve svém obrazovém bodu. V každé poloze snímaného objektu se mění (kolísá) obrazový bod výhledu kamery a díky této změně lze získat 3D-informace o každém bodu jednotlivých čar. Tedy celý obraz, tvořený velkým počtem čar, tak může být vyhodnocen díky rozdílným barvám všech promítaných čar, podobně, jako tomu je u vyhodnocení jednotlivých čar. Při vyhodnocování celého obrazu není pro každou čáru přiřazena vždy rozdílná barva, ale barvy jsou vůči sobě ještě speciálně kódovány. Výpočetní jednotka posuzuje vždy celý obraz, přesně identifikuje jednotlivé čáry a poté stanoví 3D-hodnotu pro každý bod každé čáry. Pohled (zorný úhel) kamery se na čáry může použít tehdy, určí-li se prostřednictvím výpočetní jednotky pro každý bod kamery 3D-hodnoty (souřadnice X, Y a Z). Všechny tyto body společně tvoří tzv. mračno bodů, kterým je dán povrch (plocha) kola.

6.1.3 PRŮBĚH MĚŘENÍ

- výběr vozidla z databáze
- najetí na zdvihací plošinu
- zajištění vozidla proti pohybu



Obr. 101 Nájezd na plošinu [27]

- po krátkém referenčním měření na přední nápravě přejíždí měřicí roboty na zadní nápravu



Obr. 102 Referenční měření [27]



- automatická kompenzace házivosti na zadní nápravě, zatímco jsou posuvné desky souběžně ovládány a hydraulicky posunuty proti sobě



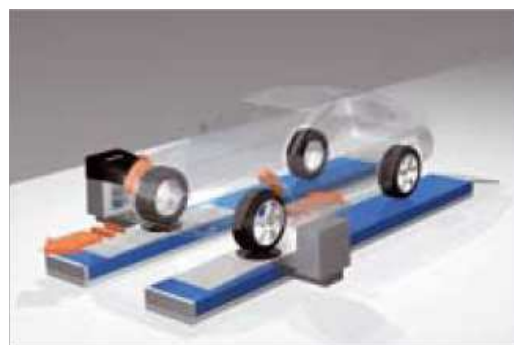
Obr. 103 Automatická kompenzace [27]

- měření pozice kola
- určení rozchodu, odklonu a sbíhavosti pomocí bezdotykového CCT měřicího zařízení



Obr. 104 Měření pozice kola [27]

- stejný proces měření i na přední nápravě



Obr. 105 Měření přední nápravy [27]

- určení záklonu kola pomocí „Microsweep“ (potřebné natočení volantu pouze 5°)



Obr. 106 Určení záklonu [27]



6.1.4 VÝHODY ZAŘÍZENÍ WAB 02 CCT NUSSBAUM

- snížení zásahu obsluhy na minimum
- odpadá upevňování měřících hlav resp. terčů na kola - žádné přípravné práce
- vysoká opakovatelnost všech měření
- automatická kompenzace házivosti ráfků - není nutná pojezdová kompenzace házivosti
- zcela bezdotykové měřící zařízení využívající technologii CCT, která přináší neustálou inovaci
- vhodné pro všechny běžné disky a kola



ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo využití 3D optických scannerů ATOS a TRITOP k určení geometrie kol a kinematiky zavěšení na přední i zadní nápravě experimentálního vozidla Formule Faster Ford. Měření se prováděla v laboratoři ÚADI v areálu VUT v Brně pomocí optických scannerů, které má tento ústav k dispozici. Práce byla rozdělena do třech částí, ve kterých se řešily dané úkoly dle zadání.

Prvním úkolem bylo seznámení se s jednotlivými scannery, s jejich principem měření a vhodným postupem při samotném skenování. Podle zadání se vyžadovalo použití zařízení TRITOP v kombinaci se skenerem ATOS. Důvodem této kombinace bylo vytvoření komplexního modelu, ve kterém se naměřené body a následně určené kinematické charakteristiky vztahovaly k jednomu základnímu souřadnému systému. Odchyšky výsledných naměřených dat z obou systémů se vždy pohybovala v předepsaném rozmezí, proto lze předpokládat, že jejich přesnost byla dostatečná i pro další zpracování. Pro ověření této přesnosti by se jistě dalo využít opakovatelného nezávislého měření, ke kterému bohužel z časových důvodů nedošlo. Naměřená data se poté importovala do softwaru GOM Inspect, ve kterém se pomocí tzv. primitiv určily souřadnice všech kinematických bodů zavěšení náprav.

Další úkol spočíval ve vytvoření 3D modelu přední a zadní nápravy za použití kinematických bodů, zjištěných z předchozího měření. Zavěšení se modelovalo v softwaru MSC Adams, ve kterém se určily kinematické charakteristiky zavěšení v základní (statické) poloze vozidla i následný průběh těchto charakteristik při propružení. V Tab. 5 jsou uvedeny naměřené hodnoty kinematických parametrů formule Faster Ford. Tyto hodnoty se na všech kolech liší, proto by nemělo smysl zjišťovat průběh kinematických parametrů pro neseřazené nápravy. Úprava se již neprováděla na samotném vozidle, ale pouze v softwaru MSC Adams vhodnou změnou kinematických bodů (seřazením bodů C, F a G – Obr. 76). Výsledek seřazení je zřejmý v Tab. 6. Pro vhodně zvolené hodnoty kinematických parametrů se zjišťoval jejich průběh při změně zdvihu kola. Zdvih kol se zvolil $\pm 50\text{mm}$, aby byly změny dostatečně zřetelné a viditelné. Ve skutečnosti k takto velkému zdvihu nedochází, protože se pro tyto vozidla volí „tvrdé“ nastavení odpružení, právě z toho důvodu, aby změny kinematických parametrů byly co nejmenší. Čím jsou tyto změny menší, tím jsou jízdní vlastnosti optimálnější a jízda je bezpečnější. Dále se určilo, jaký vliv má uchycení horního ramene na střed klopení, resp. střed klonění rámu. Přední i zadní náprava umožňuje uložení horního ramene do tří různých poloh. Tímto uložením lze měnit středy klopení a klonění jednotlivých náprav, resp. rámu.

V poslední části diplomové práce bylo úkolem navrhnout takový postup měření s využitím optického scanneru ATOS, aby s ním bylo možné určovat geometrii kol v dílnách a servisech. Běžné měření geometrie kol (kinematických parametrů) se vyznačuje krátkými přípravnými časy, vysokou produktivitou, která přímo souvisí s případnou opakovatelností potřebných měření. Jak již bylo zmíněno, optický skener ATOS není primárně určen k vyhodnocování, resp. k porovnávání získaných snímků, díky němuž by bylo možné určit kinematické parametry náprav. Další nevýhodou je samotný proces měření zařízením ATOS, který vyžaduje specifické nároky na pracovní prostředí. Aby mohlo dojít ke správnému naskenování daných ploch, je potřebné zajistit dostatečný kontrast mezi objekty, které mají a nemají být naskenovány. V případě systému ATOS se toho docílí tím, že se na



skenované plochy nanese bílá barva a skenování se provádí za snížených světelných podmínek. Volbou optického bezkontaktního zařízení WAB 02 CCT je většina z těchto nedostatků eliminována - např. na snímáný objekt se promítají barevné čáry, které kompenzují různě zbarvený snímáný objekt i světelné podmínky a zajišťují tak, že nedojde k pohlcení tohoto promítaného světla a tím i k nedokonalému nasnímaní daného objektu. Po seznámení se s problematikou skenování v průběhu měření a pozdějšího vyhodnocování naměřených dat jsem došel k závěru, že systém ATOS není vhodný pro běžné měření geometrie kol u osobních vozidel.

Hlavní cíl diplomové práce byl splněn, protože se pomocí optických scannerů a ve spolupráci s dalšími softwary určily kinematické body zavěšení, kinematické parametry a jejich průběh. Tento způsob nepatří k tradičním metodám určování geometrie, ale spíše k experimentální. Proto použití optického scanneru ATOS pro běžné určení geometrie není vhodné. Kontrolu výsledků (tj. určení parametrů geometrie Tab. 5 - zjištěných experimentálním měřením zařízeními TRITOP a ATOS), by bylo vhodné ještě ověřit pomocí zařízení, které slouží výhradně k určování geometrie kol (k této kontrole s časových důvodů nedošlo).



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, F. *Podvozky motorových vozidel*. VLK, Třetí vydání, Brno, 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- [2] VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. VLK, První vydání, Brno, 2000. ISBN 80-234-6573-0.
- [3] THE MUSTANG NEWS. *Tech and Produkt news* [online]. [cit.2011-09-02]. URL: < http://www.themustangnews.com/tech_08/st-0508irs102.htm >.
- [4] AUTOLEXICON. *Zavěšení kol* [online]. [cit.2011-02-05]. URL: < <http://cs.autolexicon.net/articles/zaveseni-kol/> >.
- [5] SOSI. *Podvozek a karoserie* [online]. [cit.2011-02-05]. URL: < <http://www.sosi.cz/texty/1f-podvozek-a-karoserie.pdf> >.
- [6] AUTOVINY. *Mazda 5* [online]. [cit.2011-09-05]. URL: < <http://autoviny.zoznam.sk/gl/1488/14/Jazda--Mazda-5> >.
- [7] AUTOLEXICON. *Kammova kružnice přilnavosti* [online]. [cit.2011-09-05]. URL: < <http://cs.autolexicon.net/articles/kammova-kruznice-prilnavosti/> >.
- [8] JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B., ČUPERA, J. *Automobily: Podvozky*. Avid, Třetí vydání, Brno, 2007. ISBN 978-80-87143-18-6.
- [9] YOUFIXCARS. *Wheel alignment* [online]. [cit.2011-09-02]. URL: < <http://www.youfixcars.com/wheel-alignment.html> >.
- [10] NISSAN 370Z. *Camber* [online]. [cit.2011-09-02]. URL: < <http://www.370z.com/> >.
- [11] AUTOPROFITEAM. *Účinek příklonu svislého čepu* [online]. [cit.2011-09-05]. URL: < <http://www.autoprofiteam.cz/article.php?artid=549> >.
- [12] VM CONSULTING. *Geometrie* [online]. [cit.2011-10-15]. URL: <<http://www.vmconsulting.cz/vybaveni%20autoservisu/geometrie.htm>>.
- [13] UNIVER. *Měření sbíhavosti* [online]. [cit.2011-10-15]. URL: <<http://www.univer.cz/doplňkove-sady-valcovych-zkuseben-brzd-beissbarth-bd5xx-6xx-id1513>>.
- [14] AUTOPRESS. *Bezdotykové měření geometrie* [online]. [cit.2011-10-10]. URL: <<http://www.autopress.cz/?page=38.bezdotykove-mereni-geometrie>>.
- [15] AP PROGRESS. *Geometrie John Bean* [online]. [cit.2011-10-10]. URL: <<http://www.appneushop.cz/vybaveni-autoservisu-a-pneuservisu/geometrie/geometrie-john-bean-visuliner-prism>>.
- [16] BOSCH. *Autopříslušenství* [online]. [cit.2011-10-25]. URL: <http://www.bosch.cz/press/detail.asp?f_id=359>.



- [17] GOM. *Gessellschaft für Optische Messtechnik* [online]. [cit.2011-11-02]. URL: <<http://www.gom.com/>>.
- [18] MCAE. *3D digitální technologie* [online]. [cit.2011-11-02]. URL: <<http://www.mcae.cz/tritop>>.
- [19] ELISEPARTS. *Uniball rod end replacements* [online]. [cit.2011-11-02]. URL: <<http://www.eliseparts.com/products/show/10/611/uniball-rod-end-replacements/>>.
- [20] CAD. *3D skener ATOS Triple Scan* [online]. [cit.2011-11-11]. URL: <<http://www.cad.cz/aktuality/77-aktuality/2262-novy-3d-skener-atos-triple-scan.html>>.
- [21] WIKIPEDIA. *Triangulace* [online]. [cit.2011-11-15]. URL: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Triangulace>>.
- [22] 3D SCAN. *ATOS Standart* [online]. [cit.2011-11-15]. URL: <http://www.3dscan-xpress.com.au/atos/atos_products.htm>.
- [23] MSC SOFTWARE. *Multibody Dynamic Simulation* [online]. [cit.2011-11-25]. URL: <<http://www.mssoftware.com/Products/CAE-Tools/Adams.aspx>>.
- [24] CYBERNET. *EnSight gold* [online]. [cit.2011-11-25]. URL: <<http://kgt.cybernet.co.jp/article/2015/>>.
- [25] MITERAL. *Zvedáky a hevery* [online]. [cit.2012-01-05]. URL: <<http://www.zvedaky-hevery.cz/img/kar45.jpg>>.
- [26] NUSSBAUM. *Prüftechnik* [online]. [cit.2012-01-05]. URL: <http://www.nussbaum-lifts.de/front_content.php?idart=154>.
- [27] SIEMENS. *Automotive industry* [online]. [cit.2012-01-09]. URL: <<http://www.industry.siemens.com/verticals/global/en/automotive-manufacturing/automotive-automation/testing-technology/end-of-line-testing-technology/Pages/Default.aspx>>.
- [28] AUTOLEXICON. *Ackermannova podmínka* [online]. [cit.2012-01-15]. URL:<<http://cs.autolexicon.net/articles/ackermannova-podminka/>>.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

K	[-]	průsečík osy kola s vozovkou
l	[mm]	vzdálenost mezi vnitřními okraji ráfků – přední část
l'	[mm]	vzdálenost mezi vnitřními okraji ráfků – zadní část
LP	[-]	levá přední polonáprava / kolo
LZ	[-]	levá zadní polonáprava / kolo
O	[-]	průsečík rejdové osy s vozovkou
PP	[-]	pravá přední polonáprava / kolo
PZ	[-]	pravá zadní polonáprava / kolo
R ₀	[mm]	poloměr rejdu
β_o	[°]	úhel odklonu kola
β_p	[°]	úhel příklonu rejdové osy
β_z	[°]	úhel záklonu rejdové osy