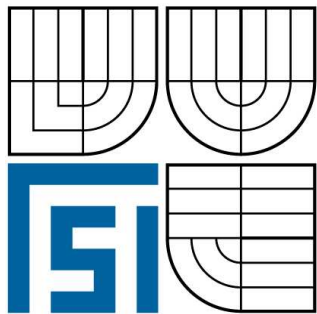


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ULOŽENÍ PŘEDNÍHO KOLA VOZIDLA FORMULE STUDENT

FORMULA STUDENT FRONT WHEEL HUB CARRIER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LNĚNIČKA MARTIN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL RAMÍK

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lněnička Martin

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Uložení předního kola vozidla Formule Student

v anglickém jazyce:

Formula Student Front Wheel Hub Carrier

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je zpracování přehledu konstrukčních provedení nábojů kol soudobých automobilů a zpracování výkresové dokumentace náboje předního kola vozidla Formule Student.

Cíle bakalářské práce:

- Zpracovat přehled konstrukčních provedení nábojů kol (těhlic) soudobých automobilů
- Popsat konstrukci předloženého náboje předního kola vozidla Formule Student a použitých nastavovacích prvků
- Stručně popsat možný způsob výpočtové kontroly náboje kola a používané zátěžné stavy
- S využitím předloženého CAD modelu náboje předního kola kola vygenerovat potřebné technické výkresy této součásti
- Dopracovat vytvořené technické výkresy do formy výrobní dokumentace

Seznam odborné literatury:

- [1] VLK, F. Stavba motorových vozidel, Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno 2006
- [2] SAE International student web page [online], 2008, poslední revize 12.10.2008. Dostupné z: <<http://students.sae.org>>
- [3] Formula SAE. Team websites [online], 2008, poslední revize 12.10.2008. Dostupné z: <<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/fsae/teamsites/>>
- [4] JANÍČEK, P., ONDRÁČEK, E., VRBKA, J. Pružnost a pevnost I, VUT Brno 1992

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Ramík

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

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace:

Martin LNĚNIČKA
Uložení předního kola vozidla Formule Student
BP, ÚADI, 2009, str.44, obr.30

Tato bakalářská práce se zabývá uložením předního kola vozu kategorie Formule Student. Obsahuje různé způsoby uložení a zavěšení kola formulových i osobních vozidel. Hlavní náplní této práce je tvorba výkresové dokumentace jednotlivých součástí uložení předního kola Formule Student. Dále je proveden kontrolní výpočet trvanlivosti ložisek při klidné jízdě po rovné vozovce.

Klíčová slova: Formule Student, uložení kola, zavěšení kola, přední těhlice, hřídel náboj, model, součást, trvanlivost ložisek, síly na kolo

Annotation:

Martin LNĚNIČKA
Formula Student front wheel hub carrier
BW, ITE, 2009, pp.44, fig.30

This thesis deals with assessment front wheel carrier of Formula Student. It contains various ways assessment and suspension of wheel formula and a car. The main contents is production of drawing documentation parts the Formula Student front wheel hub carrier. The next is realization of calculated the durability bearing to soft journey of straight on the roadway.

Keywords: Formula Student, wheel assessment, wheel suspension, front wheel hub carrier, hub shaft, model, component, endurance of bearing, wheel forces

Bibliografická citace mé práce

LNĚNIČKA, M. *Uložení předního kola vozidla Formule Student*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Ramík.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Pavla RAMÍKA a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne: 29.5.2009

Podpis:.....

Martin LNĚNIČKA

Poděkování

Tímto děkuji mému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Pavlu Ramíkovi. Mým přátelům, a v neposlední řadě mým rodičům, kteří mě poskytli podporu a možnost studia.

Obsah

1	Úvod	9
2	Uložení kola.....	10
2.1	Způsoby uložení	10
3	Prvky uložení kola	12
4	Těhlice	14
4.1	Popis a funkce těhlice	14
4.2	Zavěšení kola.....	14
4.3	Provedení konstrukce automobilové těhlice.....	16
4.4	Konstrukce těhlic vozů Formule 1	17
4.5	Provedení konstrukce těhlice Formule Student.....	18
5	Podložka pro nastavení odklonu kola.....	22
6	Horní segment těhlice	23
7	Hřídel náboje	24
8	Počítačová podpora konstruování.....	25
8.1	Program Pro/ENGINEER.....	25
8.2	Vytvoření výrobních výkresů z 3D modelu	25
8.2.1	Postup převodu z 3D modelu na 2D výkres	25
8.2.2	Tvorba pohledu.....	26
8.3	Program AutoCAD	29
9	Síly působící na těhlici a používané jízdní stavy.....	31
9.1	Síly působící na těhlici	31
9.2	Jízdní stavy používané při výpočtové kontrole součásti	31
10	Kontrola trvanlivosti ložisek	32
10.1	Ložiska přední těhlice.....	32
10.2	Kontrola trvanlivosti ložiska	34
10.2.1	Klidná jízda po rovné vozovce	36
11	Závěr.....	40
	Seznam použitých zdrojů	41
	Seznam použitých symbolů.....	43
	Seznam příloh.....	44

1 Úvod

V této bakalářské práci se budu zabývat problematikou předního uložení kola vozu kategorie Formule Student, která slouží studentům k připojení se na daném projektu a týmové práci. Tento projekt představuje návrh, vývoj a konečnou stavbu vozidla formulového typu podle konkrétních pravidel. Díky takovému vozidlu je možné se zúčastnit soutěžních závodů, což umožní porovnat jízdní vlastnosti s konkurenčními týmy a získat zkušenosti, případně řešit a vylepšovat nedostatky formulového vozidla.

Tato bakalářská práce využívá 3D modelů z diplomové práce studenta z Ústavu automobilního a dopravního inženýrství, který dokončil studium a tak jsem jeho práci převzal do mé kompetence. Mojí snahou je vytvořit z těchto 3D modelů výkresovou dokumentaci jednotlivých částí přední těhlice a uložení předního kola vozu kategorie Formule Student. V první řadě se budu zabývat rešerší různých typů uložení kol na závodních vozidlech a jejich způsoby konstrukce. Hlavní součástí uložení kola je v mém případě přední těhlice, na kterou bude brána největší pozornost. Dále zde budou popsány různé typy zavěšení kola přední nápravy a porovnání konstrukcí těhlic u formulových a osobních vozidel.

V další části práce se zaměřím na trvanlivost, spolehlivost valivých ložisek, která jsou nedílnou součástí uložení kol přední nápravy. Touto problematikou se zabývá řada teoretických a experimentálních pracovišť. Výpočet valivých ložisek provedu analytickým řešením.

2 Uložení kola

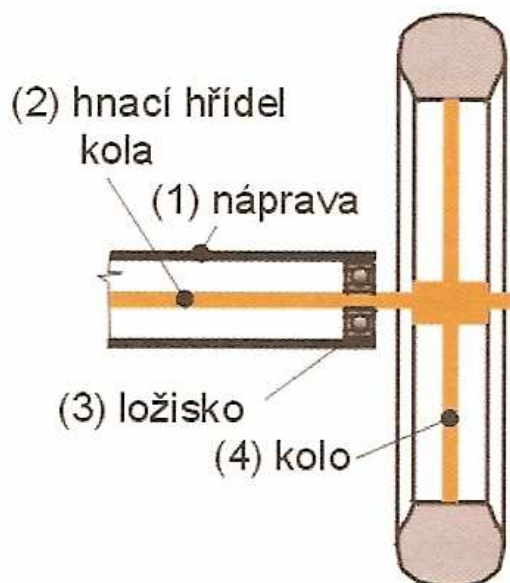
Pro uložení kol na nápravě je rozhodující, jedná-li se o kola hnací nebo hnaná. Rozdíl je v tom, že hnané kolo přenáší pouze tíhu vozidla, zatímco hnací přenáší i točivý moment od rozvodové skříně. Pro uložení se používají valivá kuličková nebo kuželíková ložiska. Jako kuličková se mohou použít jednořadá nebo dvouřadá ložiska. Kuželíková je nutno montovat do dvojic tak, aby přenášela síly v obou směrech.

2.1 Způsoby uložení

Zde budou popsána uložení hnacích kol. U Formule Student je zadní náprava hnací a přední náprava je hnaná. Na následujících schématech je použit obraz ložiska, který představuje pouze jeho symbolické označení a ne konkrétní druh ložiska.

➤ Uložení letmé

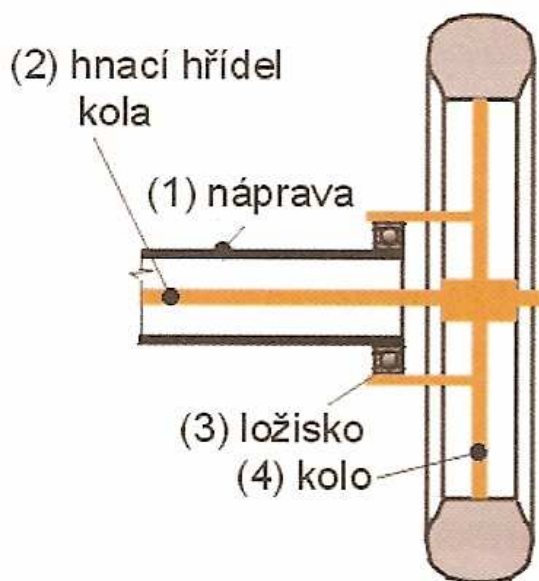
Zde je hnací hřídel (2) namáhán točivým i ohybovým momentem. „Ohybový moment vzniká zatížením kola tíhou vozidla.“ [1, str.72]



Obr. 1 Uložení letmé [1]

➤ Uložení pololetmé

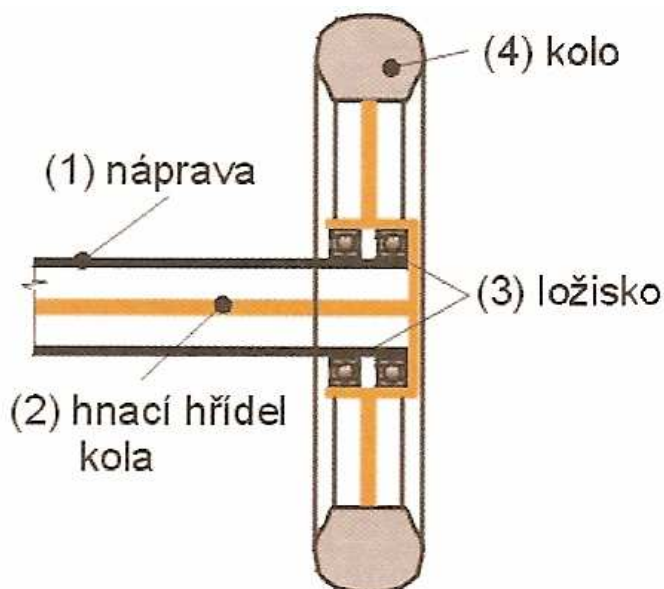
V tomto případě je část ohybového momentu přenášen přes nápravu (1), tím je hnací hřídel kola (2) částečně odlehčen.



Obr. 2 Uložení pololetmé [1]

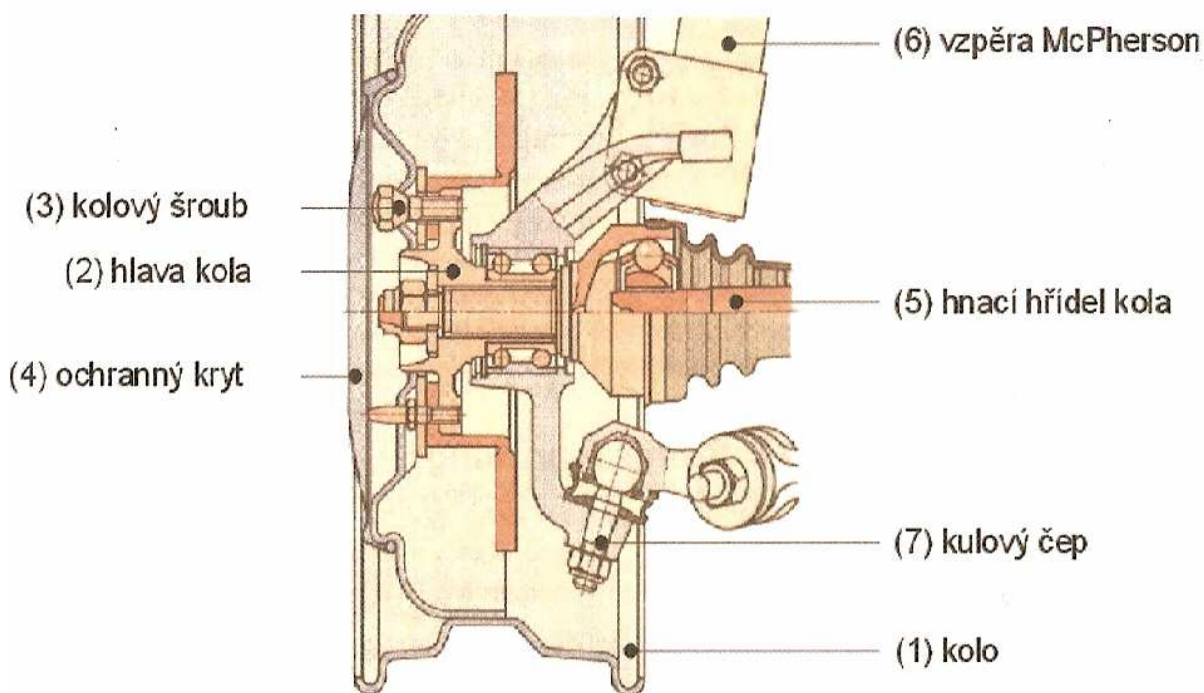
➤ **Uložení s odlehčeným hnacím hřídelem (na mostě)**

V tomto případě je uložení provedeno pomocí dvou ložisek (3) tak, že zatížení od tíhy vozidla přenáší konstrukce nápravy (1). Hnací hřídel kola je zde zatížen pouze točivým momentem. „Ve srovnání s oběma předchozími případy dochází nejen k úspoře hmotnosti hnacího hřídele, ale protože hřídel má menší průřez, je pružnější a záběr kol je měkčí.“ [1, str. 72]



Obr. 3 Uložení na mostě [1]

Na obr. 4 je vyobrazeno konstrukční provedení uchycení kola na nápravě. Jedná se o hnací nápravu, která je zároveň řídicí, a proto je nutné aby obsahovala homokinetický kloub. Na konci hnacího hřídele kola (5) je pomocí matice uchycena hlava kola (2), která je uložena ve dvouřadém kuličkovém ložisku s kosouhlým stykem (uložení letmé). Jak bude popsáno níže, u řešení uložení kola Formule Student je hlava kola totéž co hřídel náboje. K hlavě kola je upevněno kolo pomocí kolových šroubů (3). Střední část kola zakrývá ochranný kryt (4).



Obr. 4 Konstrukční provedení uložení kola na nápravě [1]

3 Prvky uložení kola

Zde se budu zabývat porovnáním automobilových a formulových uložení kol. Budou zde využity navržené součásti z diplomové práce [2]. Bude zde popsána funkce součástí, jejich detailnější popis a jejich vzájemná poloha.

Uložení předního kola obsahuje:

- **Originální navržené součásti:**
 - Přední těhlice
 - Podložka pro stanovení odklonu kola
 - Horní segment těhlice
 - Hřídel náboje

▪ **Hotové nakupované součásti**

- Brzdový kotouč – vnější průměr 248 mm
- Brzdový třmen
- Brzdové destičky
- Závlačka 5x65 ČSN 02 1781.00
- Čep 8x12 ČSN 02 2109.10 (čepy zajišťující polohu brzdového kotouče)
- Podložka 8,4 ČSN 02 1703.11 (podložky čepů)
- Kroužek 7 ČSN 02 2929.00 (pojistné kroužky pro čepy)
- Podložka 10,5 ČSN 02 1703.11 (pro šrouby držící horní segment)
- Podložka 31 ISO 7089-8
- Matice KM 30 ČSN 02 3630 (korunová matice)
- Pojistná podložka MB 30 ČSN 02 3640
- Šroub M10x35 ČSN 02 1143.50 (uchycení horního segmentu k těhlici)
- Matice M10 ČSN 02 1492.25
- Šroub M10x35 ČSN 02 1103.22 (uchycení brzdového třmene k těhlici)
- Ložisko SKF 7207 BEGBP*
- Ložisko SKF 7306 BEGBP*

4 Těhlice

4.1 Popis a funkce těhlice

U nápravy automobilu je důležitou součástí těhlice, která přenáší síly působící od kola pohybujícího se po vozovce. K těhlici je připevněno několik prvků, které tvoří celek zavěšení kola. Mezi prvky patří: horní a dolní příčné rameno u lichoběžníkové nápravy, výkyvné rameno u nápravy McPherson, dále jsou to pružící a tlumící jednotky, hnací týče, vozidlová kola, brzdové soustavy a především tyče řízení. Těhlice přenáší veškeré síly a momenty z vozovky na automobil a naopak. Ložiskový komplet je umístěn v jejím středu, ve kterém je uloženo kolo. Ložiska musí být schopny zachytit radiální a axiální zatížení. Hnací hřídel z převodovky je veden do náboje kola uloženém v těhlici, jedná-li se o hnanou nápravu. Zde musí být součástí náboje homokinetický kloub, který umožňuje přenos kroutícího momentu i v případě vzájemného vyosení těhlice a hnací hřídele.

Dle použití jsou v náboji těhlice umístěna jednořadá nebo dvouřadá radiální ložiska. V ložiscích je také uložen hřídel náboje, na kterém je připevněn brzdový kotouč nebo brzdový buben. Na hřídel náboje je upevněno kolo pomocí čtyř nebo pěti šroubů či matic, které zajistí vystředění kola, spolu s nákrůžkem na náboji, na který se nasadí kolo.

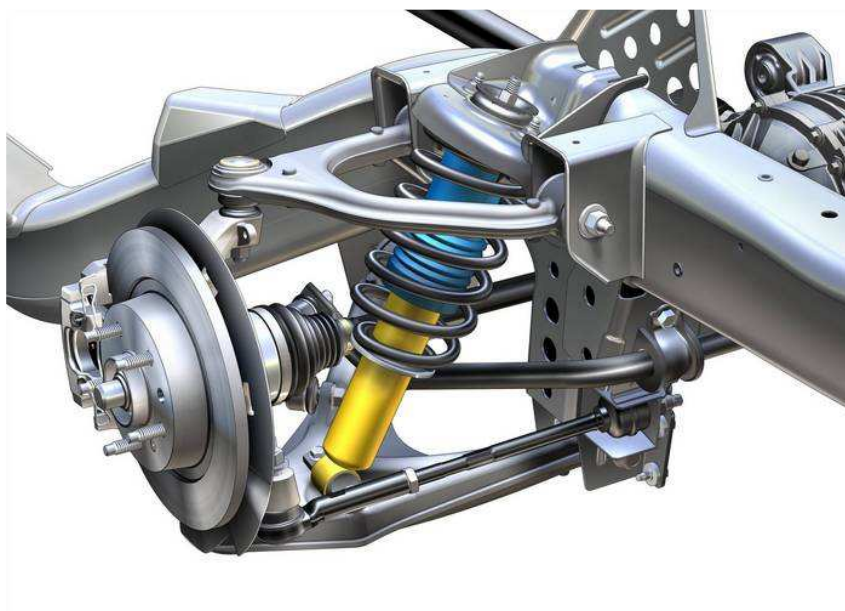
Těhlice patří k neodpruženým hmotám kola, a proto se klade pozornost na co nejmenší hmotnost. Tato podmínka má zásadní vliv na naladění podvozku a nerovnosti vozovky. Hmotnost úzce souvisí s volbou materiálu, který by měl být lehký, ale zároveň pevný.

4.2 Zavěšení kola

Na tvar a konstrukci těhlic má vliv typ zavěšení kol a použítá technologie výroby. V současnosti existuje více možností zavěšení kol. Vybral jsem nejvíce používané. Těmi jsou:

- a) pomocí lichoběžníkové nápravy
- b) typ McPherson
- c) náprava s víceprvkovým závěsem

Lichoběžníkové zavěšení nápravy je ukázáno na *obr.5* jehož název pro tento druh nezávislého zavěšení vznikl tím, že koncové body ramen tvoří v průmětu do příčné svislé roviny lichoběžník. Tento systém se nejvíce uplatňuje pro sportovnější vozy. K nápravnicí připojená ramena jsou nestejně délky, horní rameno je kratší, spodní delší. Touto úpravou se částečně odstraní nevýhoda těchto náprav – změna rozchodu, která má vliv na boční posun kol a zvýšené opotřebení pneumatik a zhoršené jízdní vlastnosti při jízdě. Lichoběžníková náprava poskytuje lepší jízdní vlastnosti, ale její výroba je dražší.



Obr. 5 Lichoběžníkové zavěšení nápravy [4]

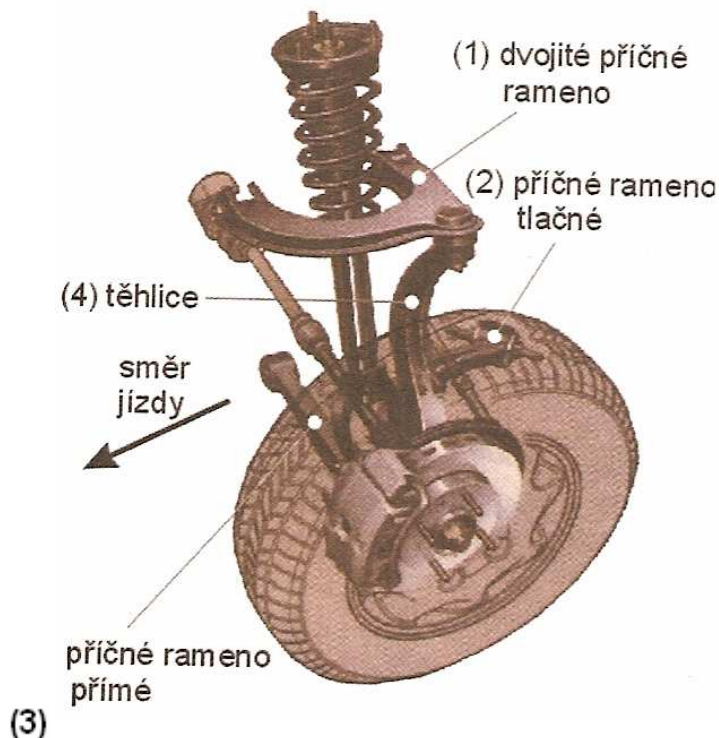
U zavěšení nápravy McPherson, kde jsou kola ustavena příčným (většinou trojúhelníkovým) ramenem uchyceným pod osou kola, pružicí a tlumicí jednotkou a spojovací tyčí. Výhody této konstrukce jsou v malé neodpružené hmotě, robustní konstrukci spodního ramene a kompaktní stavbě. Konstrukce, která dostala název podle svého vynálezce, byla po desetiletí zdokonalována a dnes představuje standardní koncepci pro většinu vozidel nižší a střední třídy. Názorná ukázka tohoto zavěšení je na obr 6.

Tento typ uložení příznivě ovlivňuje stabilitu vozidla v zatáčkách, zlepšuje vedení kola a zachycení brzdných reakcí.



Obr. 6 Zavěšení nápravy typu McPherson [5], [12]

Nápravy s víceprvkovým závěsem mají kolo zavěšeno na **více** (až pěti) **ramenech**. Kolo je nahoře zavěšeno pomocí horního dvojitého příčného ramene (1), dole prostřednictvím dvou samostatných příčných ramen, z nichž jedno je přímé (3) a druhé je zahnuto směrem dozadu (2). Zavěšení zajišťuje negativní poloměr rejdů, což je z hlediska směrové stability vozidla výhodné. Konstrukční provedení je na *obr.7*.



*Obr .7 Přední náprava automobilu Mitsubishi Galant 2.0 TD
(víceprvkový závěs) [1]*

4.3 Provedení konstrukce automobilové těhlice

Těhlice u osobního automobilu jsou odlity z šedé litiny. Dosedací, funkční plochy jsou obrobeny na požadovaný rozměr. V současnosti jsou nejpoužívanější těhlice umožňující uchycení jednotky McPherson (tlumič s pružinou). Toto provedení uchycení je nejběžnější pro osobní automobily nižší a střední třídy. Náboj je zde řešen pomocí jednoho dvouřadého ložiska a jeho poloha je zajištěna pomocí vnitřních pojistných kroužků.

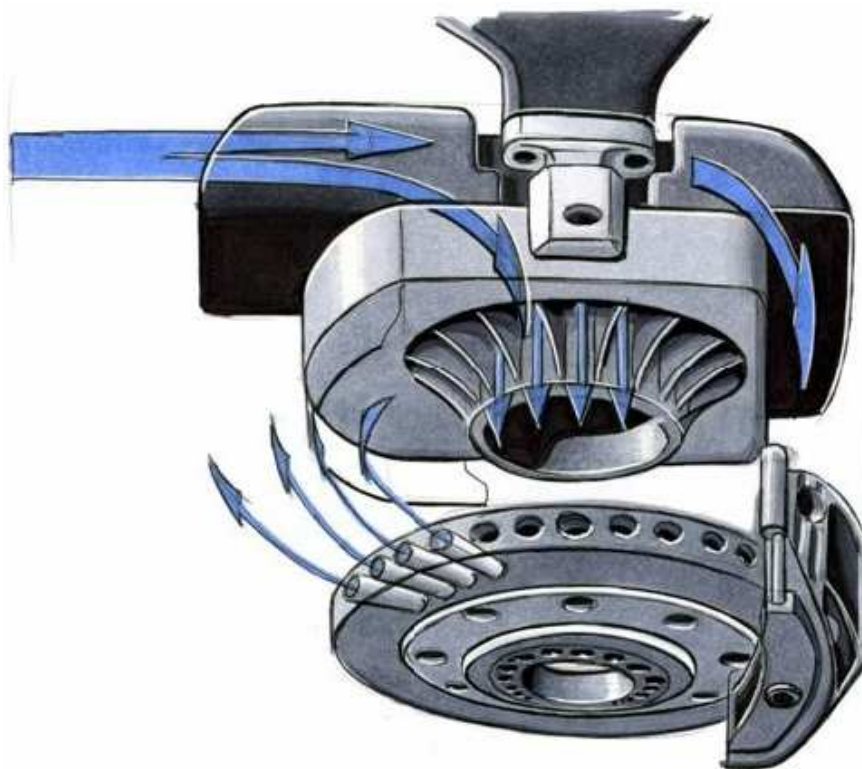


Obr. 8 Těhlice osobního automobile [6]

4.4 Konstrukce těhlic vozů Formule 1

Těhlice předního kola

Základním řešením konstrukce přední a zadní těhlic Formule 1 je řešení pro přívod vzduchu k brzdám. Ačkoliv jsou brzdy nejvýkonnějším zařízením celého vozu F1 a k jejich výrobě je využito velmi odolného uhlíkového kompozitu mají pochopitelně také svoje limity. Jejich největším nepřítelem jsou obrovské teploty, kterým musí čelit. Teplota brzdového kotouče se během závodu pohybuje mezi 400 až 800 °C a v určitých situacích může překročit i 1000 °C. Brzdové třmeny, které jsou buď kompozitové, nebo z hliníkové slitiny pak vyžadují teplotu kolem 200 až 250 °C. Aby teplota brzdových komponentů nepřesáhla tyto teplotní hranice, které zaručují jejich nevadnoucí účinek, předpokládanou míru opotřebení a celkovou funkčnost musí být velmi účinně chlazeny. K ochlazování brzd se využívá náporový vzduch, který je přiváděn prostřednictvím lehkého kompozitového potrubí. Tento díl dosahující hmotnosti pouhých 100 g doléhá těsně k průtočné těhlici kola a k brzdovému třmenu. Jeho rozměry jsou dány řadou omezení a tak jednotlivé týmy nemohou prostřednictvím tvaru a tím i účinností získat žádnou výhodu.



Obr. 9 Přední těhlice Formule 1 [8]

4.5 Provedení konstrukce těhlice Formule Student

Těhlice Formule Student by mohla být podobná v ideálním případě jako u vozů formule 1, tedy až na rozměrovou odlišnost. Těhlice Formule Student vychází z podobných principů jako ostatní těhlice. Samozřejmě si konstruktér navrhuje těhlici individuálním nebo alternativním způsobem vyhovujícím podmínkám výroby a návržení. Jak již bylo uvedeno, hlavními vlastnostmi těhlic je nízká hmotnost, vysoká pevnost, tak tomu je i u formulových provedení. Ke konstrukci těhlic jsou používány slitiny hliníku, které mají potřebné vlastnosti. Materiál navržené přední těhlice zvolil v dřívějším studiu student zabývající se přední těhlicí [13]. Navržená slitina hliníku je *AlMgSi ČSN 42 4400.73*, která má tyto základní fyzikální vlastnosti:

Pevnost v tahu:	Mez kluzu:	Hustota
$R_m = 310 \text{ MPa}$	$R_{p0,2} = 255 \text{ MPa}$	$\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti materiálu těhlic [2]



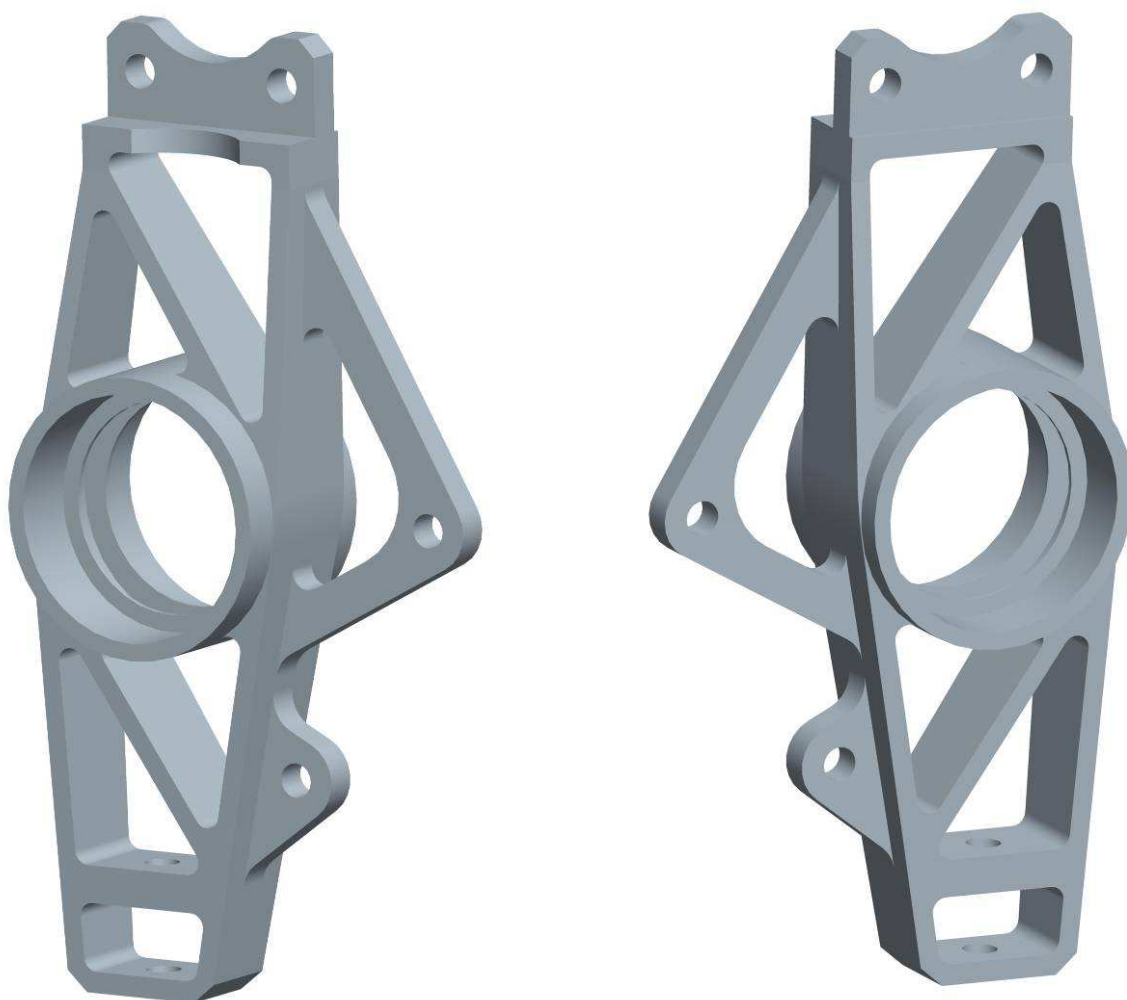
Obr. 10 Těhlice konstruovaná z lehkých slitin [2]

Dalším řešením je například svařovaná těhlice, která je na výrobu velmi jednoduchá a vyznačuje se nízkou cenou. Úchyt pro horní rameno je připevněn pomocí svaru přímo k samotnému náboji těhlice. Toto řešení je na *obr.11*.



Obr. 11 Svařovaná těhlice [7]

3D model těhlice je na obr. 12.

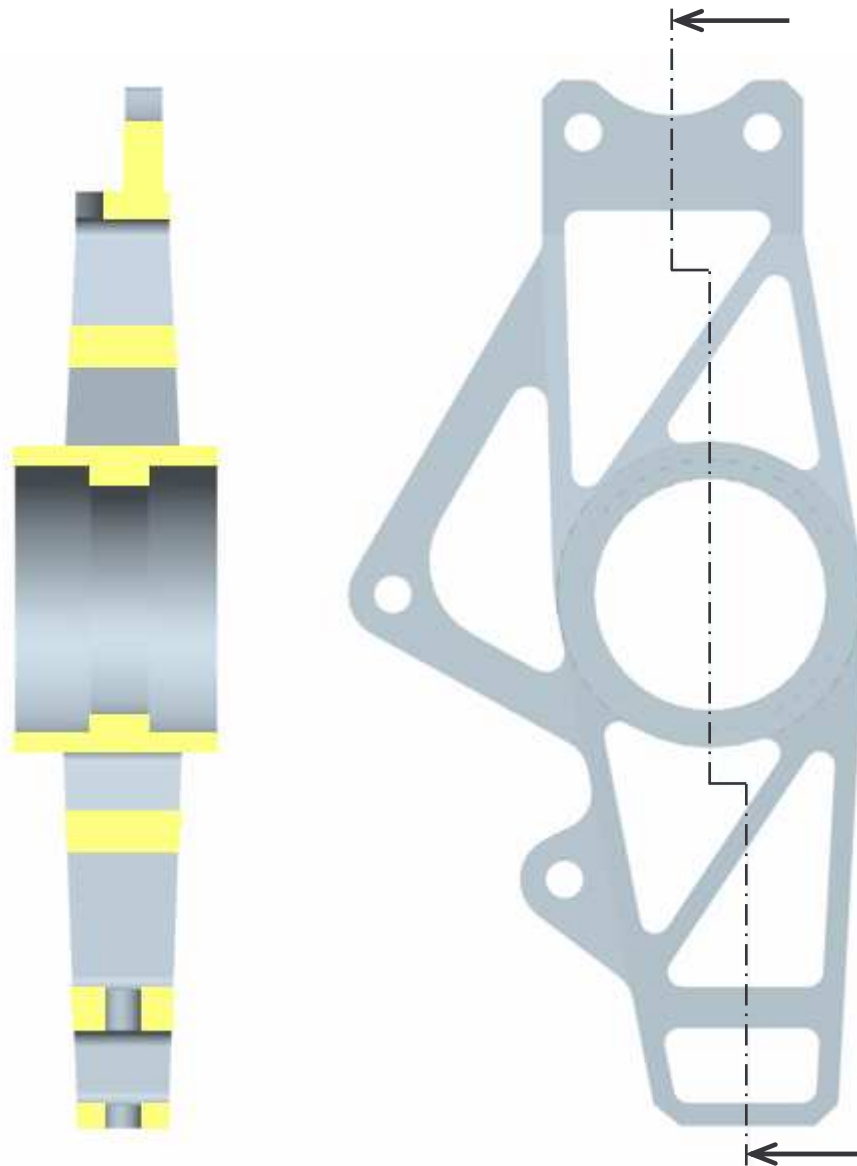


Obr. 12 Konstrukční model hlavního tělesa přední těhlice [2]

Těhlice tvoří celek, který přenáší veškeré síly a momenty. Umožňuje spojení s dalšími částmi uložení kola. V horní části je uchycen segment dvěma šrouby, na kterém jsou připojeny horní ramena a táhlo řízení. Ve střední části jsou uložena ložiska a hřídel náboje. Ve spodní části je řešeno uchycení spodního ramene pomocí oka a šroubu. Závit není v materiálu těhlice, protože zajištění uchycení nápravy je řešeno pomocí šroub – matice.

S tělesem těhlice je spojena konzola pro uchycení brzdového třmene, která je tvořena dvěma částmi, kde horní část konzole představuje tvar nepravidelného trojúhelníku.

Těhlice bude vyrobena pomocí obrábění CNC technologií.

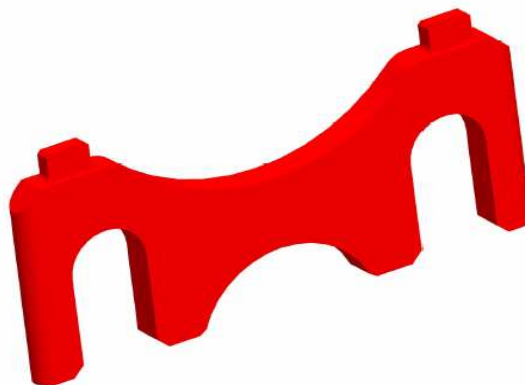


Obr. 13 Řez přední těhlicí

Pro názornost jsou plochy vzniklé řezem vybarveny žlutou barvou.

5 Podložka pro nastavení odklonu kola

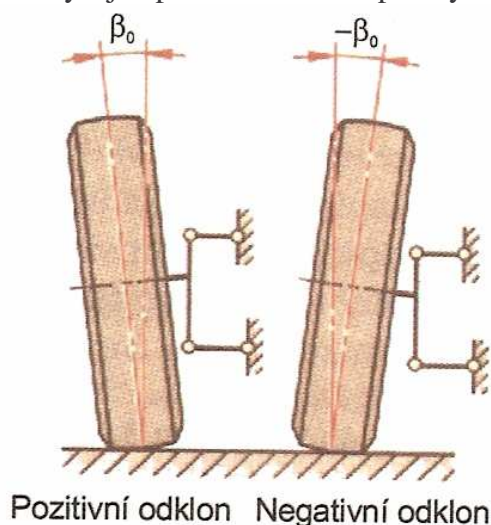
Jejím hlavním úkolem je plynule nastavovat odklon kola, což je možné realizovat pomocí změny její tloušťky. Princip spočívá ve vložení podložky mezi horní segment a těleso těhlice. Při změně okamžitého odklonu kola se změní rozchod kol i poloměr rejdu. Podložka je navržena tak, že při mírném povolání šroubů, které upevňují horní segment k tělesu těhlice, ji lze snadno vyjmout. Tato podložka je navržena pro záporný (negativní) odklon kola. 3D model podložky je na obr. 14.



Obr. 14 Model podložky pro 2° odklon předního kola [2]

Odklon kola

Je odklonění kola od svislé osy, může být pozitivní nebo negativní (příklon). Působí ve směru vymezení axiální vůle v ložiscích uložení kola. Vyvolává sílu, která tlačí kolo do uložení. Snižuje tak namáhání ložisek a šroubů upevnění kola. Pozitivní odklon zlepšuje jízdní vlastnosti, především směrovou stabilitu vozidla. Negativní odklon zlepšuje boční vedení při jízdě zatáčkou, ale zvyšuje opotřebení vnitřní plochy běhounu pneumatiky.



Obr. 15 Odklon kola [1]

6 Horní segment těhlice

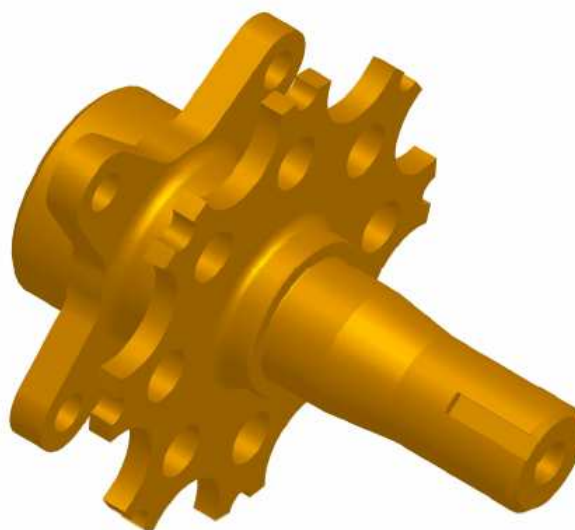
Tento segment umožňuje uchycení táhla řízení a horního ramene nápravy. Je připevněn k horní části těhlice pomocí šroubového spojení. Mezi horním segmentem a těhlicí je podložka pro nastavení odklonu kola. Jeho zobrazení 3D modelu je na *obr. 16*.



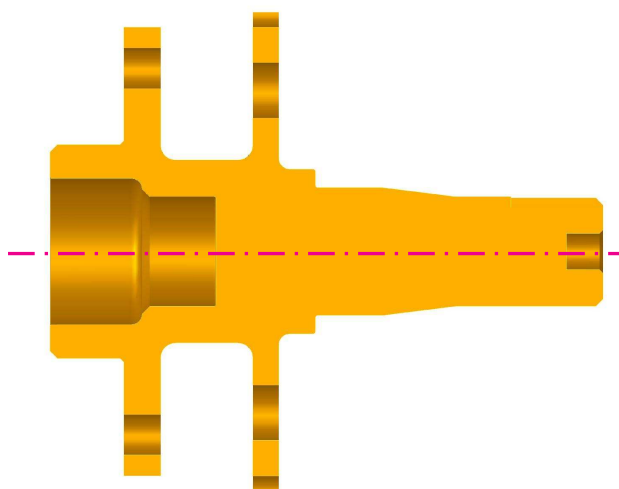
Obr. 16 Horní segment přední těhlice [2]

7 Hřídel náboje

Tato součást slouží k přichycení kola pomocí šroubů, které zajistí spolu s nákrůžkem na náboji vystředění kola. Dále je k hřídeli náboje přišroubován nebo jiným způsobem uchycen brzdový kotouč. V tomto případě je montáž brzdového kotouče realizována čepy s pojistnými kroužky. Hřídel náboje je umístěn v ložiscích a jejich poloha je zajištěna pomocí kruhové matice se zářezy a pojistné podložky, které se našroubují na závit, který je zhotoven na konci hřídele. Na 3D modelu, obr. 17 a 18, není vyobrazen metrický závit a drážka vnějšího metrického závitu.



Obr. 17 Hřídel náboje přední těhlice [2]



Obr. 18 Řez hřídele náboje přední těhlice

8 Počítačová podpora konstruování

V řešení problému konstruování je neodmyslitelnou záležitostí využití počítačových programů. Pryč jsou doby, kdy se rýsovalo na rýsovacím prkně a případné úpravy výkresové dokumentace znamenali mnoho hodin práce. V dnešní době se dá řešit problematika pevnostních výpočtů, přenosu tepla atd. pomocí některých počítačových programů. Chtěl bych zde uvést programy, které jsem využil k tvorbě výkresové dokumentace.


8.1 Program Pro/ENGINEER

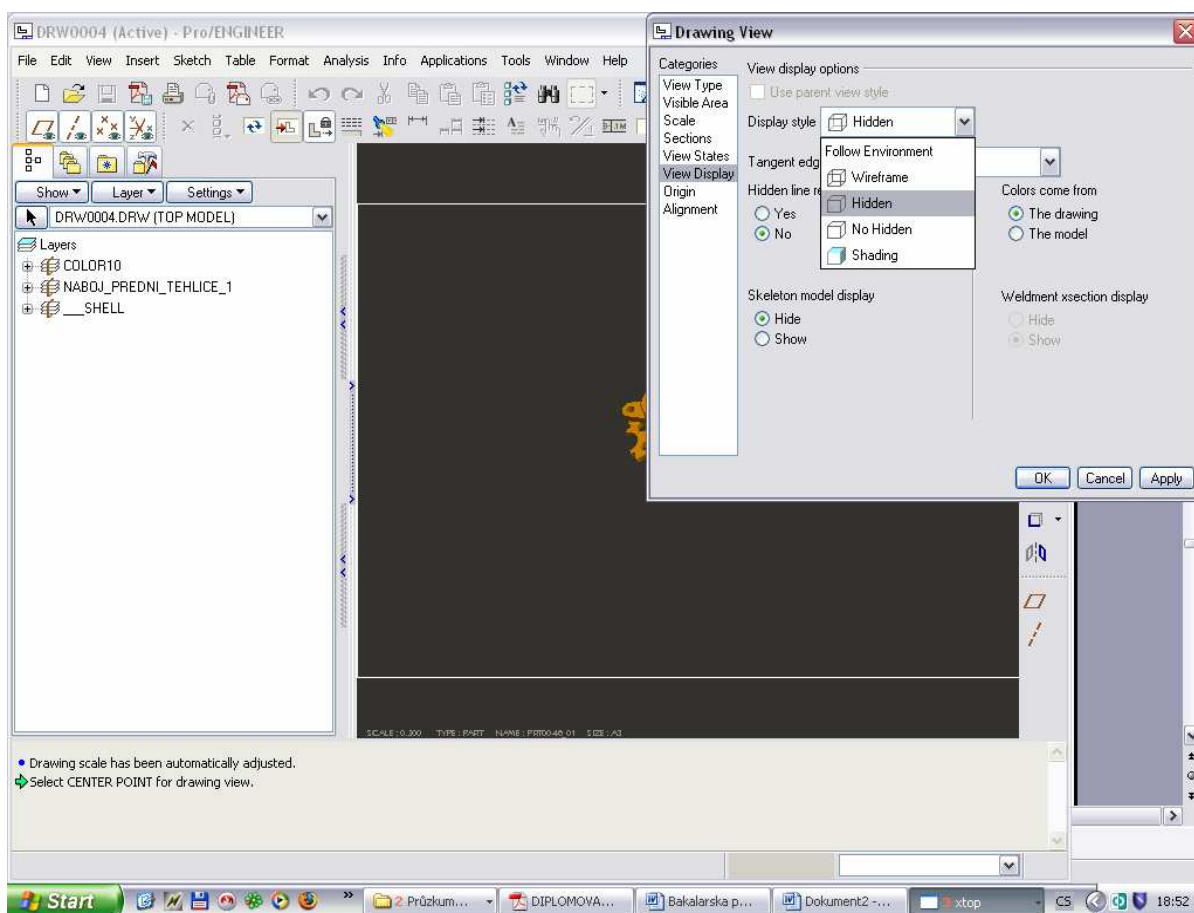
Pro/ENGINEER integruje jednotlivé etapy vývoje výrobku a poskytuje velmi strmý a jednoduchý pracovní postup. Pracovníkům využívající tento program, umožňuje plné soustředění se na provádění konstrukčních úloh, díky jeho velmi intuitivnímu prostředí s celou řadou automatizovaných rutinních procesů. To velmi zefektivňuje provádění konstrukčních a technologických změn.

8.2 Vytvoření výrobních výkresů z 3D modelu

Jak již bylo zmíněno, tato práce využívá ve svém obsahu 3D modely jednotlivých součástí, z kterých je složeno uložení kola. Aby bylo možné zpracovat výkresovou dokumentaci těchto součástí, bylo nezbytné převést prostorové modely na rovinné. Tento převod se skládá z určitých kroků, které byly provedeny v programu ProEngineer. Tyto kroky budou zmíněny v postupu převodu z 3D na 2D.

8.2.1 Postup převodu z 3D modelu na 2D výkres

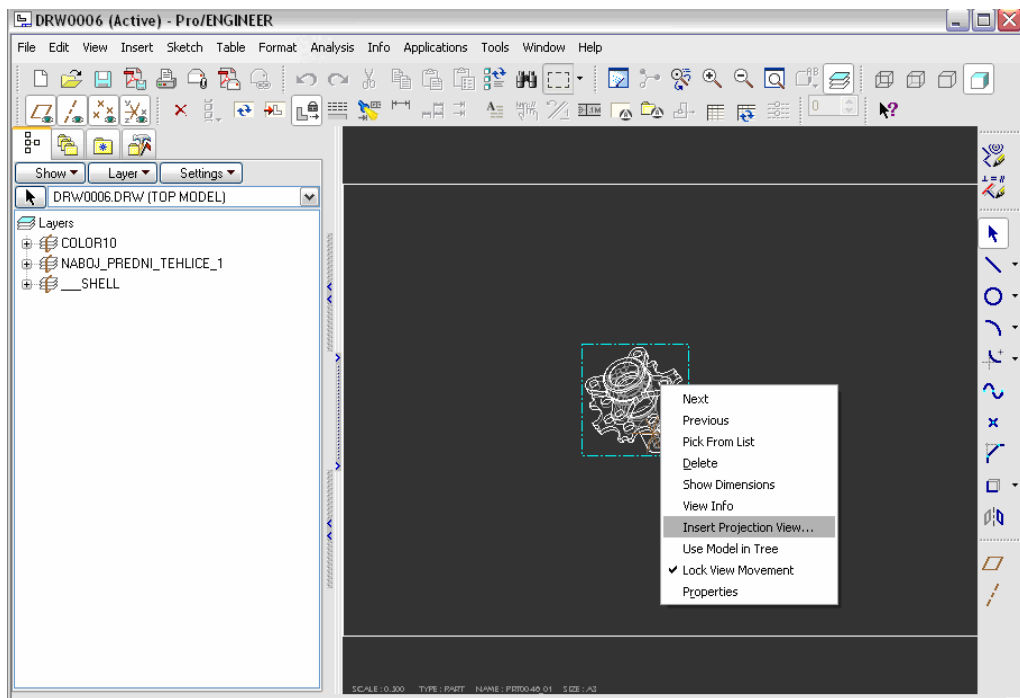
- otevřeme si model, který chceme převést
- file - new - drawing – uložíme pod určitým názvem a potvrdíme OK
- empty - landscape – vybereme velikost formátu a potvrdíme stiskem na tlačítko OK
- create a general view , potvrzením funkce tlačítka klikneme do pracovního prostoru a objeví se tvar dané součásti
- objeví se tabulka, v kategorii vybereme View Display a zvolíme možnosti zobrazení hran, potvrdíme OK
- přidržení pravého tlačítka na daném modelu se nám vygeneruje tabulka, kde můžeme měnit např. pohledy součásti nebo se podívat do vlastnostech (properties)



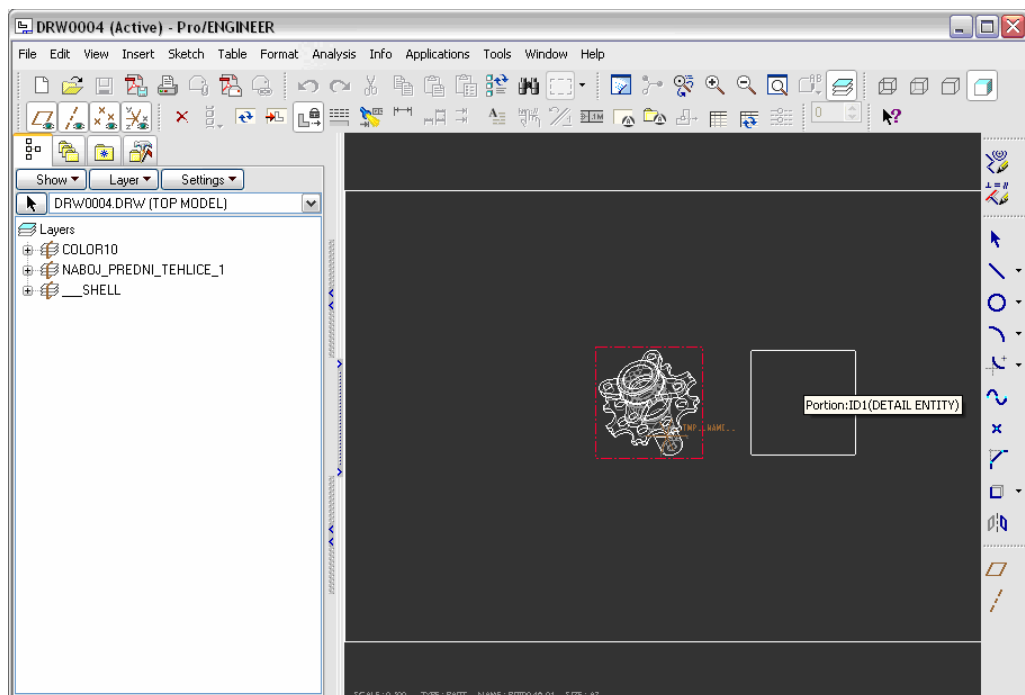
Obr. 19 Pracovní plocha programu Pro/ENGINEER, výstup na monitoru

8.2.2 Tvorba pohledu

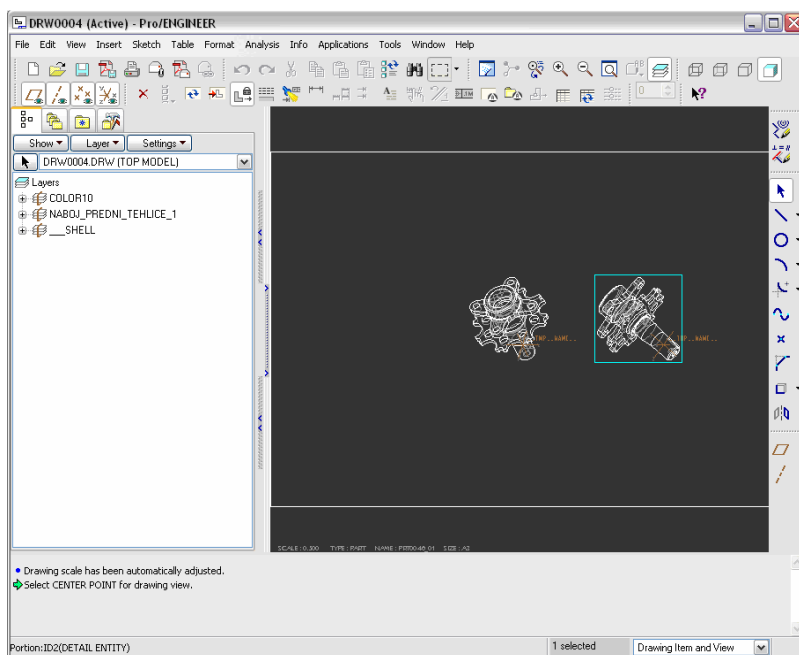
- označíme součást - pravé tlačítko – insert projection view – poté podle posunu myši ve kvadrantech si vybereme požadovaný pohled, např. pohled zepředu, shora, zprava, atd.



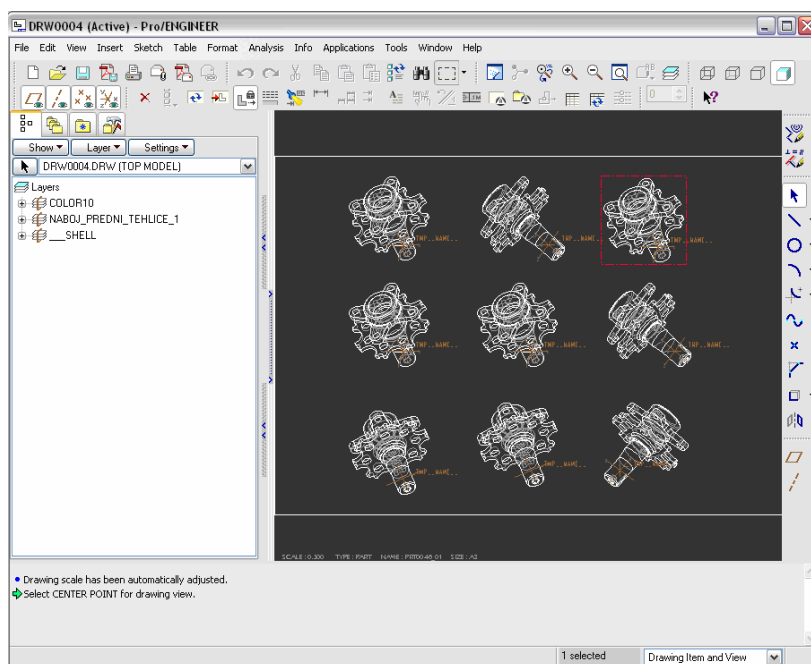
Obr. 20 Pracovní plocha programu Pro/ENGINEER, vybrání funkce insert projection view



Obr. 21 Pracovní plocha programu Pro/ENGINEER, vybrání kvadrantu



Obr. 22 Pracovní plocha programu Pro/ENGINEER, vytvoření pohledu součásti



Obr. 23 Pracovní plocha programu Pro/ENGINEER, vytvoření všech pohledů součásti

Ukládání souboru

Takto provedené činnosti je potřeba uložit, aby bylo možné se k souboru opětovně vrátit a pracovat s ním. Soubory se ukládají ve formátu (*.dwg), protože s takto vytvořeným souborem je možné pracovat v programu AutoCAD.

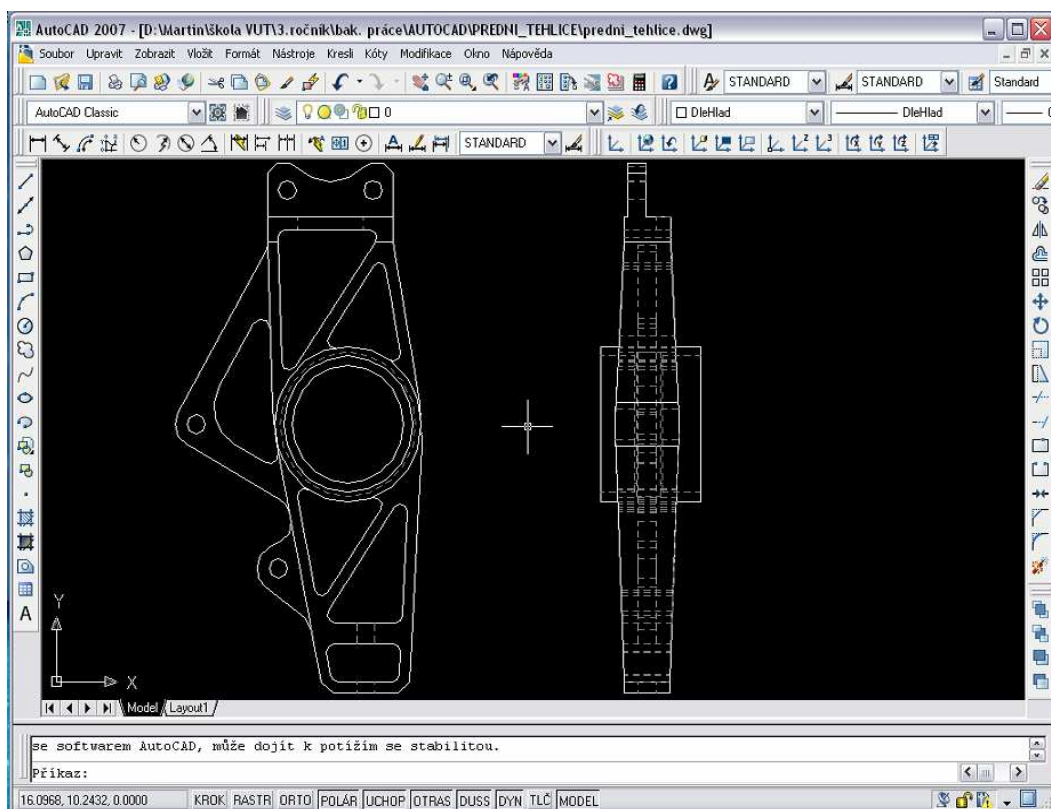
8.3 Program AutoCAD

Je produkt firmy Autodesk, představuje světovou špičku mezi CAD programy. Jeho formáty souborů **DWG** a **DXF** jsou standardem při výměně CADovských dat. AutoCAD slouží často jako platforma pro běh nadstavbových aplikací vyvíjených jak Autodeskem tak dalšími firmami. Tyto nadstavby lze programovat v jazycích C, C++/C a mnoha dalších. Je úspěšně využíván v celé škále aplikací - zahrnuje oblasti od strojírenství, přes stavebnictví, architekturu a mapování, ale i obory geodézie a GIS, elektrotechnika, chemie, astronomie, archeologie, ekologie a třeba i divadelnictví.

„AutoCAD vyvíjíme už déle než 20 let, abychom uspokojili poptávku zákazníků a pomohli jim dostat se o krok dál. Naši zákazníci požadují sofistikované, ale snadno ovladatelné nástroje integrované do prostředí AutoCADu, v němž jsou zvyklí pracovat. Autodesk 2007 představuje komplexní nástroj, který pokrývá celý návrhářský proces, od přípravy koncepce až k vytvoření dokumentace,“ řekl John Sanders, viceprezident Platform Technology Division společnosti Autodesk.[10]

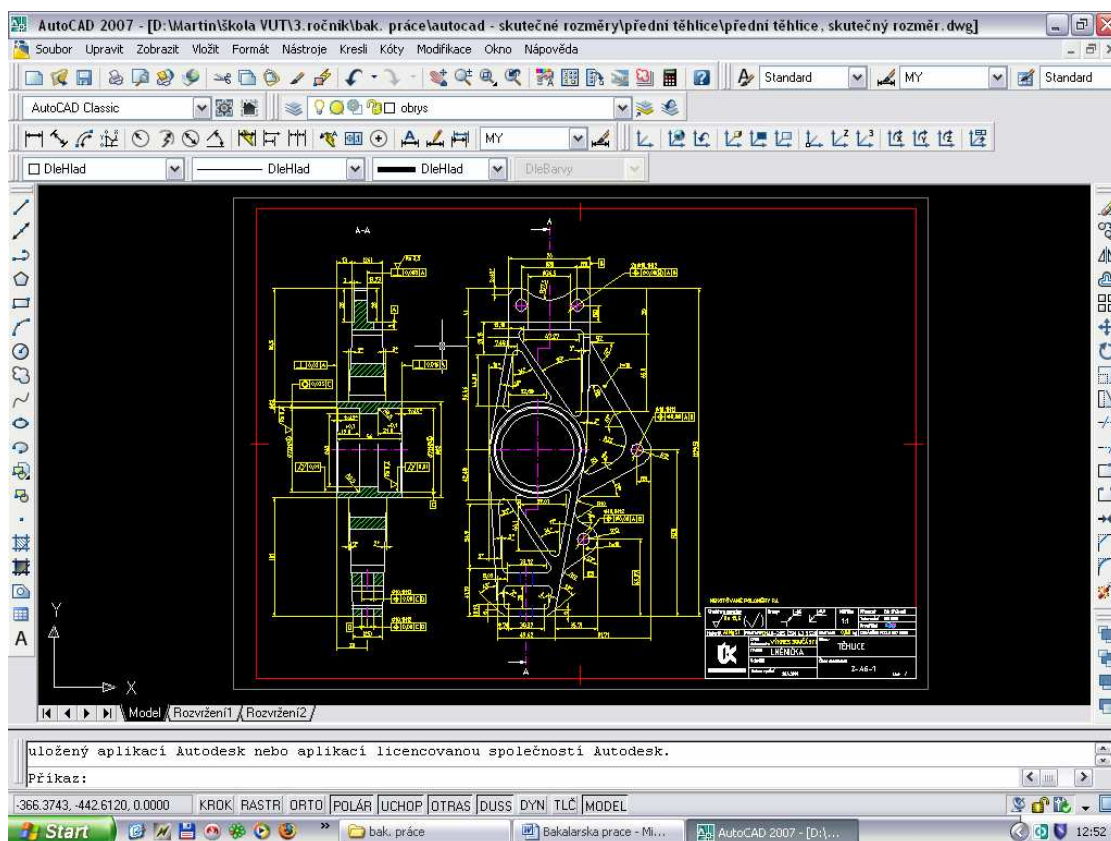
Při tvorbě výkresové dokumentace byla využita verze AutoCAD 2007. Platforma AutoCAD 2007 je dostatečně sofistikovaná pro složité projekty, a přitom je přístupná i začátečníkům. Přináší funkčně silné, intuitivní rozhraní pro rychlé a snadné vytváření a modifikace tvarů.

Dříve než se začne cokoli rýsovat, je praktické využít hladiny, ve kterých se nastaví tloušťka a barva čáry. Zajistí se tak lepší orientace ve výkrese. Toto nastavení je vhodné si uložit do šablony. Tím jsou tato nastavení využitelná i v dalších výkresech.



Obr. 24 Pracovní plocha programu AutoCAD 2007, výstup na monitoru

Po tvorbě pohledu při převodu z 3D modelu na 2D výkres a následném uložení souboru, se tento vzniklý soubor otevřel v programu AutoCAD. Kótováním se dospělo ke konečné podobě výkresů součástí. Ukázka jednoho výkresu součásti je na *obr. 25*.



Obr. 25 Pracovní plocha programu AutoCAD 2007, výstup na monitoru, hotový výkres součásti

9 Síly působící na těhlici a používané jízdní stavy

9.1 Síly působící na těhlici

Při jízdě po vozovce vznikají síly a momenty, které působí na části náprav. V případě přední nepoháněné, řízené nápravy jsou to boční síly, zajišťující říditelnost, síla tíhová od vlastní hmotnosti vozu, bzdna (podélná) síla. Obr. 26 ukazuje vektory těchto sil.

- 1 – brzdna síla
- 2 – boční síla
- 3 – tíhová síla



Obr. 26 Síly působící na automobilové kolo

9.2 Jízdní stavy používané při výpočtové kontrole součásti

Při provozu formulových vozidel vznikají jízdní stavy, které mají rozdílné velikosti a směry vektorů sil působících na těhlici. Z těchto jízdních stavů byly vybrány jízdní stavy, které mají nejhorší jízdní vlastnosti. Aby bylo možné zjistit tyto jízdní stavy, bylo nutné určit polohu bodu, ve kterém působí jednotlivé síly. Tento bod se nachází ve středu styku pneumatiky s vozovkou, tzn. ve vzdálenosti rozchodu kola, který má hodnotu 1265.36 mm. Těmi jsou:

- přejezd nerovnosti
- vozovka s výmoly
- prudké brzdění
- prudká akcelerace

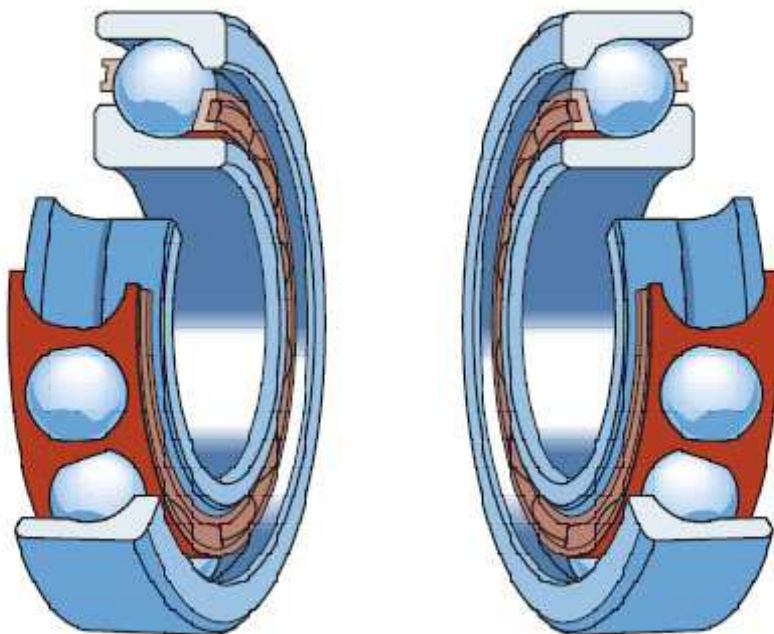
Zjištěním sil působících na kolo bylo možné určit síly, které se přenáší na těhlici. Nejvyšší naměřené hodnoty sil působících na přední těhlici, které byly odečteny z grafů vytvořených multibody systémem ADAMS při těchto jízdních stavech, je možno použít jako zátěžné účinky pro MKP analýzu těhlic.

10 Kontrola trvanlivosti ložisek

10.1 Ložiska přední těhlice

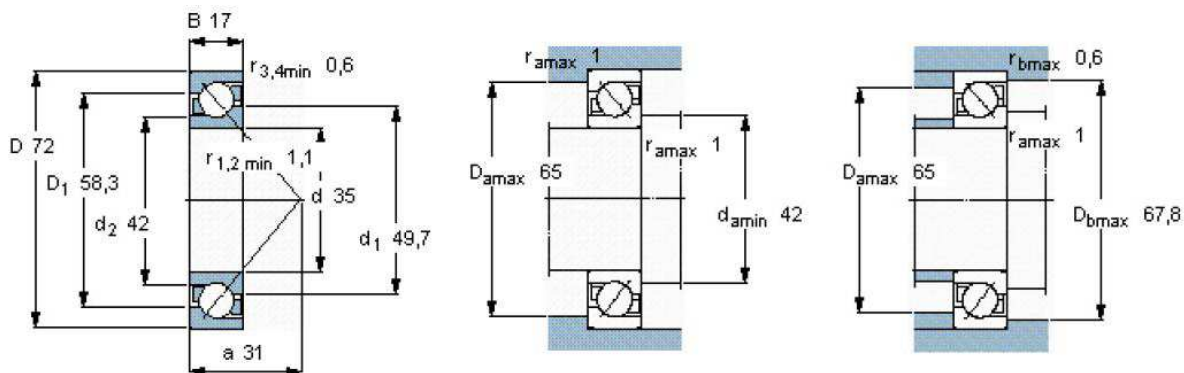
I když kontrola trvanlivosti ložisek nebyla v zadání práce vyžadována, považuji za účelné uvedený výpočet provést. Jelikož ložiska nebyla dosud kontrolována při žádném jízdním stavu, vybral jsem jízdni stav při klidné jízdě po rovné vozovce. Tento jízdni stav je nejběžnější a vozidla se v tomto stavu provozují nejvíce.

U Formule Student je náboj kola uložen ve dvou kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem (jeden pár), která jsou zobrazena na *obr. 24*. Ložiska jsou vyrobena firmou SKF, kde oběžné dráhy vnitřních a vnějších kroužků kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem jsou vzájemně přesazeny ve směru osy ložiska. Tyto ložiska mohou přenášet kombinované zatížení, tj. radiální i axiální sílu. Axiální únosnost kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem vzrůstá s rostoucím úhlem styku.



Obr. 27 Model kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem (jeden pár) [14]

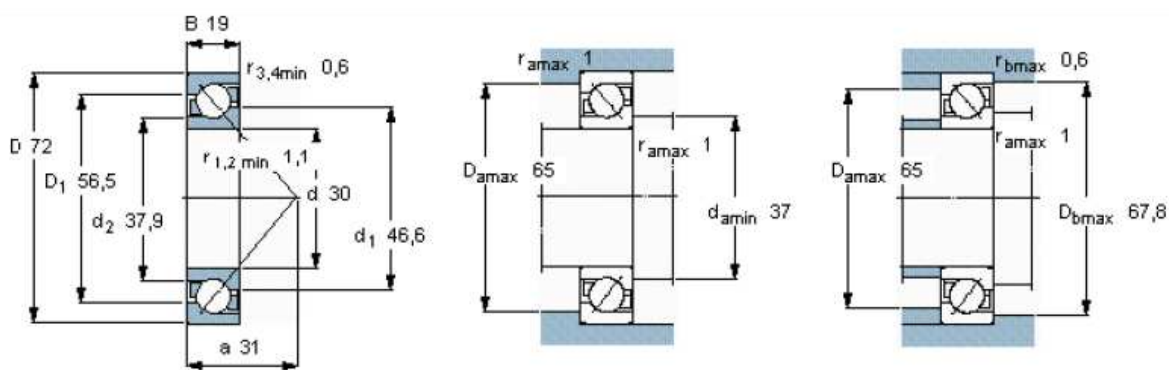
Uložení ložisek bude řešeno pomocí dvou navzájem sepnutých ložisek, které umožňují přesně nastavovat ložiskovou vůli a do jisté míry seřizováním vyrovnávat opotřebení. Ložiska budou nalisována jak na hřídel náboje, tak zároveň do otvoru těhlice. Na každé kolo jsou navržena dvě ložiska o rozdílném průměru vnitřního kroužku z důvodu smontovatelnosti a rozebíratelnosti náboje. Ložiska typu SKF 7207 BEGBP* budou umístěna z vnějších stran těhlic a ložiska typu SKF 7306 BEGBP* z vnitřních stran těhlic (blíže k podélné ose vozu). Na *obr. 28* a *29* jsou vyobrazeny rozměrové výkresy navržených ložisek.



Obr. 28 Rozměrový výkres ložiska SKF 7207 BEGBP* [14]

Hlavní rozměry [mm]			Základní únosnosti [kN]		Hmotnost [kg]	Označení
d	D	B	Dynamická – C ₁₀	Statická – C ₀		
35	72	17	31	20,8	0,28	7207 BEGBP*

Tab. 1 Parametry ložiska SKF 7207 BEGBP* [14]



Obr. 29 Rozměrový výkres ložiska SKF 7306 BEGBP* [14]

Hlavní rozměry [mm]			Základní únosnosti [kN]		Hmotnost [kg]	Označení
d	D	B	Dynamická – C ₁₀	Statická – C ₀		
30	72	19	35,5	21,2	0,33	7306 BEGBP*

Tab. 2 Parametry ložiska SKF 7306 BEGBP* [14]

Základní trvanlivost

Zkoušky ukazují, že v závislosti na vlastnostech materiálu kolísá trvanlivost stejných ložisek při stejných provozních podmínkách. Zavedením základní trvanlivosti ložiska L_{10} je možné použít jednotný způsob výpočtu. Hustota pravděpodobnosti má tvar odpovídající Weibullovu rozložení.

Základní trvanlivost je definována např. v [15]: „Základní trvanlivost lze definovat jako počet otáček nebo provozních hodin, které dosáhne nebo překročí 90 % ložisek z dané skupiny než dojde ke kontaktní únavě.“

Rovnice základní trvanlivosti

$$L = L_{10} \cdot \left(\frac{C_{10}}{F} \right)^a = 10^6 \cdot \left(\frac{C_{10}}{F} \right)^a \quad (1)$$

exponent a dosahuje těchto hodnot:

- 3 pro ložiska s bodovým stykem
- 10/3 pro ložiska s čárovým stykem

Význam parametru C_{10} je opět definován např. v [15]: „ C_{10} je základní dynamická únosnost, tj. největší neproměnné zatížení valivého ložiska, při kterém nejméně 90 % ložisek ze skupiny dosáhne základní trvanlivosti $L_{10} = 10^6$ otáček.“

F je zatěžující radiální síla.

10.2 Kontrola trvanlivosti ložiska

Provedu kontrolu trvanlivosti ložiska pro jeden jízdní stav:

- Klidná jízda po rovné vozovce

Aby bylo možné provést výpočet trvanlivosti je nutné znát jaké síly působí na kolo. Nejdříve provedu výpočet pro tíhovou sílu od hmotnosti odpružených částí přední nápravy, které činí 120,793 kg. Tuto hodnotu jsem obdržel od kolegů, kteří se zabývali problematikou přední nápravy.

Vstupní hodnoty pro výpočet jsou

$m = 120,793 \text{ kg}$ odpružená hmotnost částí přední nápravy
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ tíhové zrychlení

F_C celková tíhová síla odpružených částí přední nápravy

$$\begin{aligned} F_C &= m \cdot g \\ F_C &= 120,793 \cdot 9,81 \\ \underline{\underline{F_C}} &= \underline{\underline{1184,98 \text{ N}}} \end{aligned} \quad (2)$$

Tato tíhová síla se přenáší na 2 kola. Je nutné provést výpočet na jedno kolo, které obsahuje 2 ložiska, tedy sílu působící na jedno ložisko.

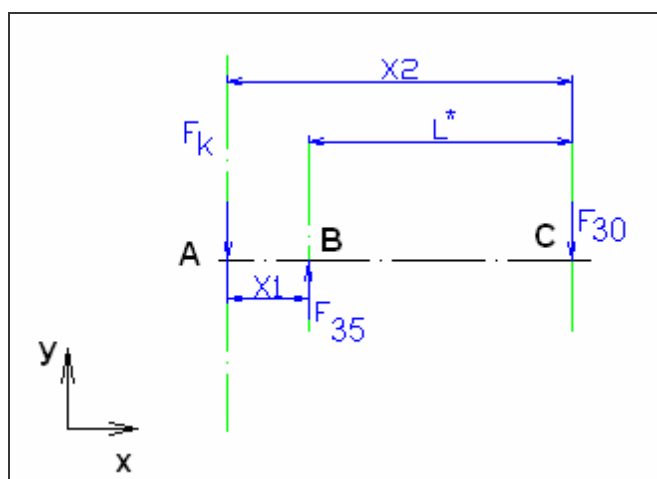
F_Ktíhová síla na jedno kolo

$$F_K = \frac{F_C}{2}$$

$$F_K = \frac{1184,98}{2} \quad (3)$$

$$\underline{\underline{F_K = 592,50 \text{ N}}}$$

V dalším kroku je potřeba provést statickou rovnováhu, pomocí které lze vypočítat síly působící na jednotlivá ložiska.



Obr. 30 Statická rovnováha

F_K tíhová síla na jedno kolo

F_{35}síla v ložisku SKF 7207 BEGBP*

F_{30}síla v ložisku SKF 7306 BEGBP*

X_1vzdálenost osy kola a osy ložiska SKF 7207 BEGBP*

X_2vzdálenost osy kola a ložiska SKF 7306 BEGBP*

L^* vzdálenost os ložisek

Silovou rovnováhu v ose x nemá smysl řešit, protože v této ose nepůsobí žádné síly.

Silová rovnováha v ose y:

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{35} - F_K - F_{30} = 0 \quad (4)$$

Momentová rovnováha k bodu B:

$$\begin{aligned}\sum M_B &= 0 \\ F_K \cdot X1 - F_{30} \cdot L^* &= 0 \\ F_{30} \cdot L^* &= F_K \cdot X1\end{aligned}\tag{5}$$

$$\begin{aligned}F_{30} &= \frac{F_K \cdot X1}{L^*} \\ F_{30} &= \frac{592,50 \cdot 10,5}{34} \\ \underline{\underline{F_{30} &= 183 \text{ N}}}\end{aligned}\tag{6}$$

Z momentové rovnováhy k bodu B se dospělo k výpočtu síly v ložisku, s vnitřním průměrem kroužku 30 mm, F_{30} .

Ze silové rovnováhy v ose y se vypočte síla v ložisku, s vnitřním průměrem kroužku 35mm, F_{35} :

$$\begin{aligned}F_{35} - F_K - F_{30} &= 0 \\ F_{35} &= F_K + F_{30} \\ F_{35} &= 592,50 + 183 \\ \underline{\underline{F_{35} &= 775,5 \text{ N}}}\end{aligned}\tag{7}$$

10.2.1 Klidná jízda po rovné vozovce

- pro ložisko SKF 7207 BEGBP*

$$\begin{aligned}L &= 10^6 \cdot \left(\frac{C_{10}}{F_{35}} \right)^a \\ L &= 10^6 \cdot \left(\frac{31000}{775,5} \right)^3 \\ \underline{\underline{L &= 6,39 \cdot 10^{10} \text{ otáček}}}\end{aligned}\tag{8}$$

Takto vypočítanou trvanlivost lze přepočíst na trvanlivost v hodinách. Od svých kolegů jsem získal informace o průměru navržené pneumatiky $d = 520$ mm a průměrné rychlosti vozu 48 – 57 km/h. Z těchto hodnot je možné vypočítat otáčky n. Neberou se v úvahu faktory, které mají vliv na průměr pneumatiky, jako např. opotřebení a nahuštění pneumatik.

$r = 0,26$ m..... minimální poloměr kola
 $v = 57$ km/h = 15,83 m/s..... průměrná rychlost vozu

$$\omega = \frac{v}{r}$$
$$\omega = \frac{15,83}{0,26} \quad (9)$$
$$\omega = \underline{\underline{60,88 \text{ rad / s}}}$$

$$n = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$
$$n = \frac{60,88}{2 \cdot \pi} \quad (10)$$
$$n = 9,69 \text{ ot / s}$$
$$n = \underline{\underline{581,40 \text{ ot / min}}}$$

$$L = n \cdot 60 \cdot L_h$$
$$L_h = \frac{L}{n \cdot 60} \quad (11)$$
$$L_h = \frac{6,39 \cdot 10^{10}}{581,40 \cdot 60}$$
$$L_h = \underline{\underline{1,83 \cdot 10^6 \text{ hod}}}$$

n – otáčky za minutu

- pro ložisko SKF 7306 BEGBP*

$$L = 10^6 \cdot \left(\frac{C_{10}}{F} \right)^a$$
$$L = 10^6 \cdot \left(\frac{35500}{183} \right)^3 \quad (12)$$
$$L = \underline{\underline{7,3 \cdot 10^{12} \text{ otáček}}}$$

$$L = n \cdot 60 \cdot L_h$$
$$L_h = \frac{L}{n \cdot 60} \quad (13)$$
$$L_h = \frac{7,3 \cdot 10^{12}}{581,40 \cdot 60}$$
$$L_h = \underline{\underline{2,09 \cdot 10^8 \text{ hod}}}$$

n – otáčky za minutu

Mnohem nižší počet hodin trvanlivosti by stačil k bezpečnému návrhu ložiska o dostatečné trvanlivosti. Např. kdyby byla požadována trvanlivost 20 tisíc provozních hodin, stačilo by použít ložisko o menší základní dynamické únosnosti.

Výpočet základní dynamické únosnosti pro 20 000 hod.

- pro ložisko SKF 7207 BEGBP*

$$C_{10} = F \cdot \left(\frac{L_h \cdot n \cdot 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{a}}$$

$$C_{10} = 775,5 \cdot \left(\frac{20000 \cdot 581,40 \cdot 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

$$\underline{\underline{C_{10} = 6878,08 \text{ N}}}$$

- pro ložisko SKF 7306 BEGBP*

$$C_{10} = F \cdot \left(\frac{L_h \cdot n \cdot 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{a}}$$

$$C_{10} = 183 \cdot \left(\frac{20000 \cdot 581,40 \cdot 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (15)$$

$$\underline{\underline{C_{10} = 1623,07 \text{ N}}}$$

10.2.1.1 Výpočet spolehlivosti ložiska

Výrobce	Hodnocení trvanlivosti	Weibullové parametry		
		x_0	θ	b
SKF	$L_{10} = 1 \cdot 10^6$	0,02	4,159	1,483

Tab. 3 Parametry pro výpočet spolehlivosti [15]

Rovnice spolehlivosti

$$R = \exp \left[- \left(\frac{x - x_0}{\theta - x_0} \right)^b \right] \quad (16)$$

$$x = \frac{L}{L_{10}} \quad (17)$$

- pro ložisko SKF 7207 BEGBP*

$$\begin{aligned}x &= \frac{L}{L_{10}} \\x &= \frac{6,39 \cdot 10^{10}}{10^6} \\x &= \underline{\underline{6,39 \cdot 10^4}}\end{aligned}\tag{18}$$

$$\begin{aligned}R &= \exp\left[-\left(\frac{x - x_0}{\theta - x_0}\right)^b\right] \\R &= \exp\left[-\left(\frac{16,39 \cdot 10^4 - 0,02}{4,159 - 0,02}\right)^{1,483}\right] \\R &= \underline{\underline{1}}\end{aligned}\tag{19}$$

- pro ložisko SKF 7306 BEGBP*

$$\begin{aligned}x &= \frac{L}{L_{10}} \\x &= \frac{7,3 \cdot 10^{12}}{10^6} \\x &= \underline{\underline{7,3 \cdot 10^6}}\end{aligned}\tag{20}$$

$$\begin{aligned}R &= \exp\left[-\left(\frac{x - x_0}{\theta - x_0}\right)^b\right] \\R &= \exp\left[-\left(\frac{7,3 \cdot 10^6 - 0,02}{4,159 - 0,02}\right)^{1,483}\right] \\R &= \underline{\underline{1}}\end{aligned}\tag{21}$$

Pro obě uvedená ložiska při jízděm stavu klidné jízdy po rovné vozovce vychází výsledná spolehlivost rovna 100%.

11 Závěr

U Formule Student je provedeno uložení kola letným způsobem, kde jsou použita dvě radiální ložiska s kosouhlým stykem, která mají tu výhodu, že přenesou radiální i axiální síly. U zavěšení kol je využito lichoběžníkové nápravy, která je vhodná pro sportovní vozy svým prostorovým uspořádáním. Při porovnání těhlic osobních automobilů a formulí je největší rozdíl v použitých materiálech a navržených tvarech. U Formule student je použita slitina hliníku $AlMgSi$, která má výhodu oproti těhlicím u osobních automobilů ve své nízké hmotnosti a vyšší pevnosti.

V rámci práce byly vytvořeny výrobní výkresy základních částí uložení kola. Při vytváření výkresů součástí byl použit postup, při kterém byl proveden převod z 3D modelů na 2D výkresy pomocí programu Pro/ENGINEER. V tomto programu se vytvořil také řez těhlicí a řez hřídelem náboje. Tento postup ušetřil čas, který by musel být jinak vynaložen při samotném kreslení v programu AutoCAD. Výrobní výkresy byly okótovány v již zmíněném programu AutoCAD, který slouží jako prostředí pro vytváření výrobní dokumentace. Tento program byl zvolen z důvodu znalosti ovládnutí možných funkcí vhodných ke zhotovení výrobních výkresů dle platných pravidel. Pro přehlednost při které je snadnější a rychlejší práce vytváření výkresů byly využity tzv. hladiny, které se nastavují v kótovacím stylu. Tyto hladiny mají různé barvy, tloušťky a typy čar. Poslední dvě zmíněné vlastnosti jsou nutné, aby byly dodrženy náležitosti pro tvorbu výkresové dokumentace. Byly vypracovány výkresy součástí z 3D navržených modelů, které je nutné vyrobít, jelikož se nedají koupit. Protože tyto součásti mají neobvyklý tvar, je zamýšleno je opracovat pomocí CNC technologie.

Při výpočtu sil v ložiskách byl zanedbán odklon kola, nehomogenita pneumatiky. Vypočítaná trvanlivost v hodinách je velmi vysoká. Je to způsobeno nízkým zatížením ložisek a návrhem velkých ložisek v případě klidné jízdy po rovné vozovce. Pro zatížení od hmotnosti odpružených částí přední nápravy by stačila ložiska s menší základní dynamickou únosností. U obou navržených ložisek vychází výsledná výpočtová spolehlivost rovna 1, tedy 100 %. Toto tvrzení je ale možné uplatnit pouze při provedené kontrole při klidné jízdě po rovné vozovce. Samozřejmě, že při jízdách stavech jako je např. jízda po vozovce s výmoly, prudké brzdění, brzdění s následujícím skluzem pneumatiky po vozovce, jízda přes obrubník, jízda zatáčkou, jsou síly působící na ložiska různě velké a tedy i životnost ložisek by zřejmě vycházela s nižšími hodnotami. S ohledem na to by se problematice ložisek, a to jak jejich návrhu, tak jejich kontrole bylo možno věnovat detailněji a provést další rozbory, ale toto již nebylo cílem zpracované bakalářské práce. Výsledné ověření vhodnosti provedeného návrhu jednotlivých částí zavěšení kola pak poskytne samozřejmě ověření v praxi.

Seznam použitých zdrojů

- [1] JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily 1 : podvozky*. 2. vyd. Brno : Avid s.r.o.Brno, 2001. 211 s.
- [2] VYMAZAL, R. *Těhlice vozu kategorie Formule SAE*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 110 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Svída.
- [3] JANDA, Petr. *1 f Podvozek a karoserie* [online]. 2007 [cit. 2009-02-22]. Dostupné z: <<http://www.sosi.cz/texty/1f-podvozek-a-karoserie.pdf>>.
- [4] ENTERPRISES , Jelsoft. *SOLSTICE FORUM* [online]. 2000-2009 [cit. 2009-03-08]. Dostupné z: <www.solsticeforum.com>.
- [5] *Custom Shed* [online]. 2001 [cit. 2009-03-08]. Dostupné z: <www.fastlane.com.au/Custom_Shed/suspension.jpg>.
- [6] *AUTO PART WAREHOUSE* [online] [cit. 2008-01-28] Dostupné z: <<http://www.autopartswarehouse.com/>>
- [7] *BILLZILLA* [online] [cit. 2009-01-24] Dostupné z: <<http://www.billzilla.org/newrcar.htm>>
- [8] *CONSTRUCTORS F1* [online] [cit. 2009-01-24] Dostupné z: <<http://www.constructorsf1.com/modules.php?name=News&pagenum=3>>
- [9] *XANADU a.s. . AutoCAD* [online]. c2009 [cit. 2009-03-01]. Dostupné z: <<http://www.xanadu.cz/autocad.asp>>.
- [10] *AutoCAD2007* [online]. 2006 [cit. 2009-03-01]. Dostupné z: <<http://www.e-architekt.cz/index.php?KatId=69&PIId=2051>>.
- [11] *FlowTech.cz* [online]. 2006 [cit. 2009-01-03]. Dostupné z: <<http://www.flowtech.cz/index.php?docid=91>>.
- [12] *The Car Maintenance Bible Renderings in High Res* [online]. 2009 [cit. 2009-03-09]. Dostupné z: <www.carbibles.com/buytheimages.html>.
- [13] MUSIL, J: *Přední těhlice Formule SAE*, diplomová práce. Brno 2007
- [14] *SKF: Interactive Engineering Catalogue* [online] [cit. 2009-02-03] Dostupné z: <<http://www.skf.com/portal/skf/home/products?newlink=first&lang=en>>
- [15] *Konstruování strojů : Strojní součásti* [online]. 2008 [cit. 2009-04-05]. Dostupné z: <<https://www.vutbr.cz/elearning/>>.

- [16] SVOBODA, Pavel, BRANDEJS, Jan, PROKEŠ, František. *ZÁKLADY KONSTRUOVÁNÍ*. [s.l.] : [s.n.], 2006. 199 s.
- [17] SOBEK, Evžen, et al. *ZÁKLADY KONSTRUOVÁNÍ : Návody pro konstrukční cvičení*. 6. přeprac. vyd. [s.l.] : [s.n.], 2004. 53 s. ISBN 80-7204-331-5.
- [18] SVOBODA, Pavel, et al. *ZÁKLADY KONSTRUOVÁNÍ : Výběr z norem pro konstrukční cvičení*. [s.l.] : [s.n.], 2001. 288 s.

Seznam použitých symbolů

b	[-]	Weibullov parametr (tvarový parametr)
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
m	[kg]	odpružená hmotnost částí přední nápravy
n	[s ⁻¹]	otáčky
r	[m]	minimální poloměr kola
v	[m/s]	průměrná rychlost vozu
x	[-]	Weibullov parametr
x ₀	[-]	Weibullov parametr
C ₁₀	[N]	základní dynamická únosnost
F	[N]	radiální síla
F _C	[N]	celková tíhová síla odpružených částí přední nápravy
F _K	[N]	tíhová síla na jedno kolo
F ₃₀	[N]	síla v ložisku SKF 7306 BEGBP*
F ₃₅	[N]	síla v ložisku SKF 7207 BEGBP*
L	[ot]	trvanlivosti ložiska
L _h	[h]	trvanlivosti ložiska v hodinách
L ₁₀	[ot]	základní trvanlivost ložiska
L [*]	[m]	vzdálenost os ložisek
R	[-]	spolehlivost ložiska
X1	[m]	vzdálenost osy kola a osy ložiska SKF 7207 BEGBP*
X2	[m]	vzdálenost osy kola a ložiska SKF 7306 BEGBP*
θ	[-]	Weibullov parametr
ω	[rad/s]	úhlová rychlost
ΣF _y	[-]	silová rovnováha v ose y
ΣM _B	[-]	momentová rovnováha k bodu B

Seznam příloh

- Příloha 1:** Těhlice, číslo výkresu: 2 – A6 – 1
- Příloha 2:** Podložka, číslo výkresu: 4 – A6 – 2
- Příloha 3:** Horní segment, číslo výkresu: 3 – A6 – 3
- Příloha 4:** Hřídel náboje, číslo výkresu: 3 – A6 – 4
- Příloha 5:** CD s obsahem: Elektronická verze bakalářské práce (formát .pdf) + výkresy součástí v programu AutoCAD