

Přední náprava a řízení pro vůz CTU CarTech

Bc. Pavel Hesterini

Vedoucí práce: Ing. Jan Baněček, Ph.D.

Anotace

Práce se zabývá konstrukčním návrhem a následnou realizací přední nepoháněné říditelné nápravy závodního vozu třídy Formula SAE s týmovým označením FS.02. Nejprve jsou rozebrány důvody pro zvolení základní koncepce a poté následuje podrobné konstrukční zpracování přední nápravy. Jsou zde řešeny kinematické poměry nápravy v součinnosti se zadní nápravou, pevnostní výpočty a analýzy, použitelnost výrobních technologií a vše je završeno stavbou provozu schopného prototypu, jeho otestováním a účastí na závodě Formula Student Germany 2010.

Klíčová slova

Formula SAE, Formula Student, CTU CarTech, lichoběžníkové zavěšení, pevnostní analýza, metoda konečných prvků, kinematický model závodního vozu

1. Úvod

Vůz CTU CarTech je závodní jednosedadlový vůz určený pro mezinárodní soutěže Formula SAE a Formula Student. Od počátku až do konce ho vytváří tým studentů reprezentující určitou technickou univerzitu a poté s tímto vozem soutěží na závodech po celém světě s konkurenčními týmy z jiných technických univerzit. V této soutěži se nejedná o běžný plnokrevný závod, nýbrž o rozvíjení inženýrských schopností zúčastněných studentů.

Celá soutěž je složena z několika disciplín, které jsou bodově ohodnoceny. V těchto disciplínách se hodnotí technická vyspělost vozu, konstrukční řešení jednotlivých komponent, vzhledový design, použité technologie, ale i manažerské, ekonomické a obchodní dovednosti. V základu se tyto disciplíny dělí na statické a dynamické. Pro vstup do dynamických disciplín je splnění technické přejímky (splnění pravidel Formula SAE včetně dodatků od organizátorů soutěže), testu náklonu vozu pod úhlem 60° (vůz se nesmí převrátit a nesmí vytékat žádná kapalina), testem brzd (všechna kola se musí zablokovat před zastavením vozu) a testem hluku (120 dB při 10500 ot/min). Pak může tým vstoupit do dynamických disciplín, kam patří jízda v osmičce, akcelerační jízda na 70m dlouhé trati, kvalifikační jízda do hlavního závodu tzv. auto-cross a hlavní vytrvalostní závod. Během soutěžního víkendu paralelně probíhají statické disciplíny, mezi které se řadí obchodní plán týmu, obhajoba konstrukčních řešení, pohledový design a doložení celkových výrobních nákladů pro výrobu pomyslných 1000 kusů vozů. Cílem obou soutěží Formula SAE (USA) a Formula Student (Evropa) je tedy teoretická i praktická výchova budoucích inženýrů s uplatněním nejen v automobilovém průmyslu.

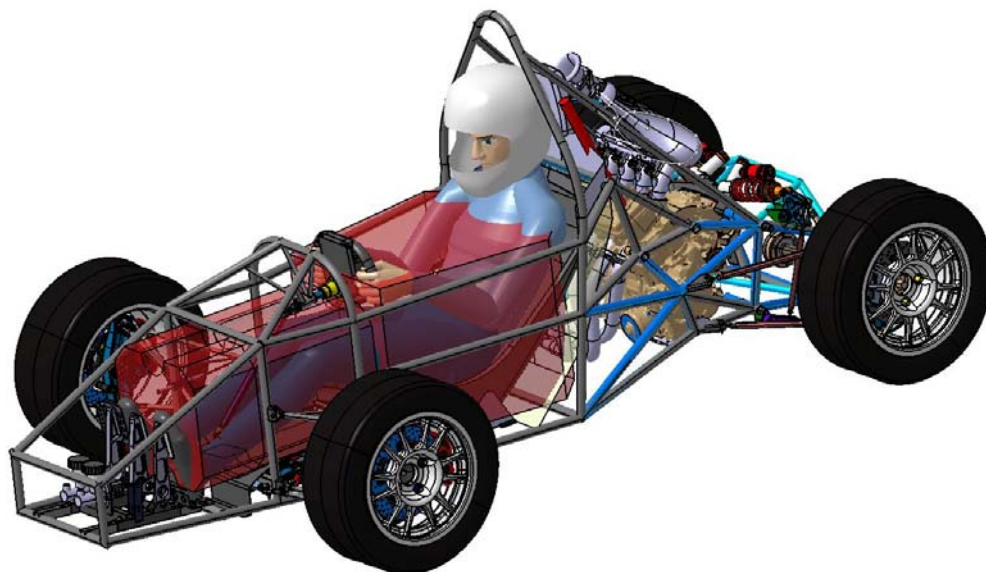
Tato práce se věnuje jednomu konstrukčnímu celku vozu s přímou návazností na ostatní celky, a to přední nápravě a řízení. Již v minulém roce tým postavil svůj historicky první vůz FS.01 na ČVUT v Praze, se kterým se účastnil soutěže Formula Student Germany 2009 a také bylo studenty zpracováno několik diplomových a bakalářských prací. Veškeré tyto získané zkušenosti se přímo uplatnily na nové koncepci přední nápravy pro vůz FS.02 a na jeho dalších částech.



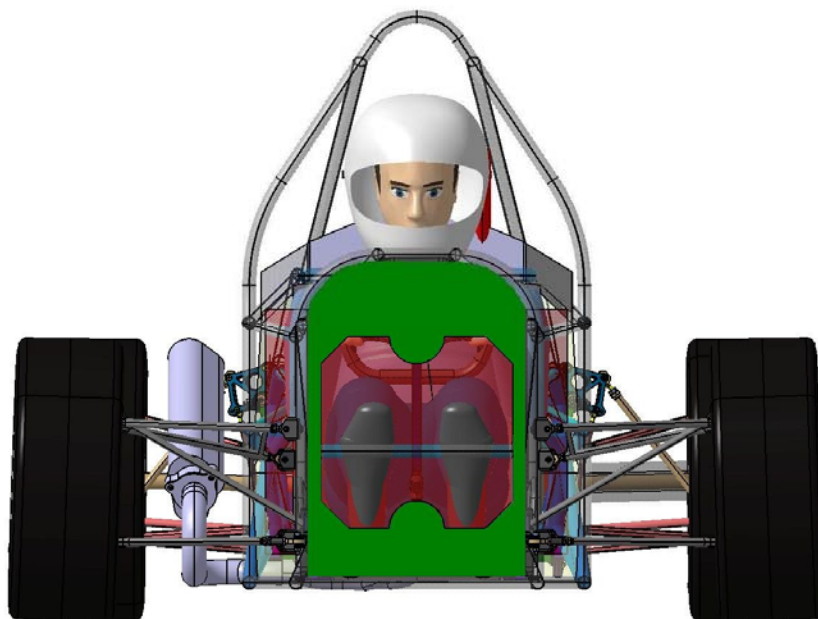
Obr. 1; Tým CTU CarTech na závodě Formula Student Germany 2009

2. Volba koncepce přední nápravy

Velké omezení při návrhu vhodného prostorového uspořádání komponentů přední nápravy způsobuje pravidly daný bezpečnostní prostor v kokpitu, do kterého nesmí mimo sloupku řízení nic zasahovat. Na něj dále navazuje vstupní bezpečnostní prostor, který však nezpůsobuje tak velké omezení, ale musí se s ním také počítat (v obr. 2 jsou zvýrazněny červenou barvou). Dále pravidla předepisují další požadavky, jako například požadavek na základní polohu jezdce, polohu a tvar volantů, základní tvar ochranného rámu a podobně. Další a nemalou roli při volbě koncepce přední nápravy hrají kinematické požadavky na závodní vůz pro specifické tratě Formula SAE.



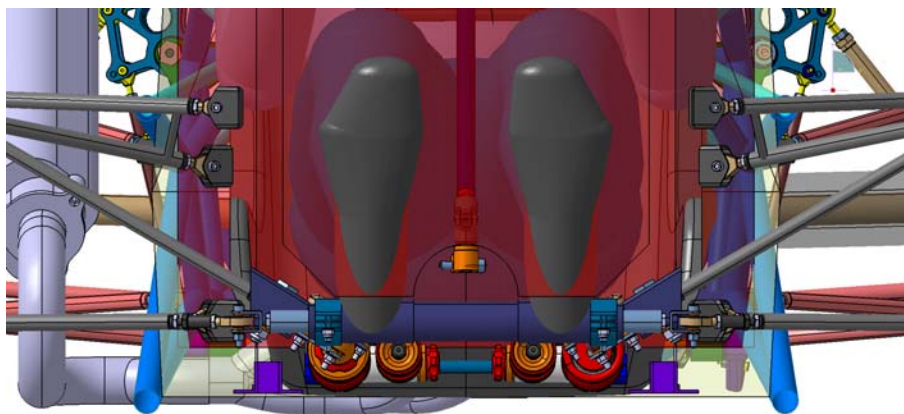
Obr. 2; Celkový pohled na konstrukci vozu FS.02



Obr. 3; Možnosti umístění komponent kolem ochranného prostoru uvnitř rámu (zeleně vyznačeno)

Na všechny tyto skutečnosti se při návrhu koncepce musel brát zřetel a dbát na návaznost se sousedícími konstrukčními celky včetně zadní nápravy. Prvním rozcestníkem byla volba typu odpružení. V úvahu přicházely dvě varianty, a to varianta „push-rod“, kdy táhlo ovládající tlumič je při propuštění namáháno na tlak (vzniká tak namáhání na vzpěr) a varianta „pull-rod“, kdy táhlo je namáháno výhodněji, a to na tah. Dalším základním rozhodnutím je umístění hřebenu řízení, které musí splňovat určité kinematické požadavky (například maximální změna sbíhavosti při propuštění). Může být umístěno buď nad ochranným prostorem, přičemž se hřeben dostane do takové výšky, že se nepříznivě mění charakteristika změny sbíhavosti. Lze to sice vyřešit vhodným konstrukčním zásahem na koncích hřebene (snížení koncových bodů pomocí „schodu“ nebo přepákování), ale mnohem vhodnější je uložit hřeben řízení pod ochranný prostor, kde je charakteristika změny sbíhavosti natolik příznivá, že není třeba dalších úprav hřebenu. Aby se maximálně využil volný prostor pod ochranným prostorem, zvolila se varianta odpružení typu „pull-rod“, kdy veškeré komponenty přední nápravy jsou umístěny na podlaze vozu. Má to hned několik výhod a to zejména ve snížení těžiště, využití volného prostoru pod nohama jezdce, celkové snížení vozu, lepší rozložení namáhání lichoběžníkových ramen zavěšení a vhodnějšího namáhání táhla tlumiče na tah (nevzniká vzpěr). Tato varianta má i samozřejmě své nevýhody, jako je malý sklon táhla odpružení a tím potřeba velkého přepákování na vahadle, dále prostorová náročnost konstrukčního řešení celé sestavy a další nevýhody. V součtu však výhody výrazně převyšují nevýhody a proto se šlo variantou „pull-rodu“. Od této základní koncepce přední nápravy se potom odvíjí následující návrhy, počínaje jemnějším návrhem kinematiky přední nápravy v součinnosti se zadní nápravou.

Základním požadavkem nové koncepce je i větší rozptyl nastavitelnosti funkčních součástí přední nápravy, jako je rychlá změna sbíhavosti a odklonu kola, změna Ackermannovy geometrie a nastavitelná tuhost zkrutného stabilizátoru a tlumič jednotky. Dalším požadavkem je umožnění jednodušších servisních zásahů a zkrátit tak čas možných oprav na voze. Tyká se to především přístupu ke kloubovým hlavicím na ramenech a táhlech.



Obr. 4; *Prostorové uspořádání komponent v závislosti na ochranném prostoru*

3. Návrh kinematiky podvozkové skupiny

Kinematika je pro závodní vůz velmi důležitá a existuje celá řada filozofií a návrhů, jak by měla vypadat. Základními úhly, které charakterizují geometrii nápravy je odklon, příklon, záklon a sbíhavost, a dále poloměr rejdového čepu, závlek, výška centra klopení a v neposlední řadě Ackermannova geometrie či jiné speciální funkce, jako například Anti-Dive, který působí proti předklánění vozu při deceleraci. Hodnoty těchto veličin se zvolily tak, aby se splnily požadavky na vůz při různých stavech jízdy kladené pro závodní okruhové vozy. Příkladem lze uvést požadavek maximálního a minimálního odklonu kola při průjezdu zatáčkou s uvažováním radiální tuhosti pneumatiky tak, aby zůstala co největší styčná plocha mezi pneumatikou a vozovkou. Nebo také zvolení takových hodnot úhlů záklonu a příklonu, aby řízení vozu vyhovovalo předpokladu sportovní jízdy. Splnění těchto a mnoha dalších požadavků je základem úspěšné konstrukce podvozku závodního vozu.

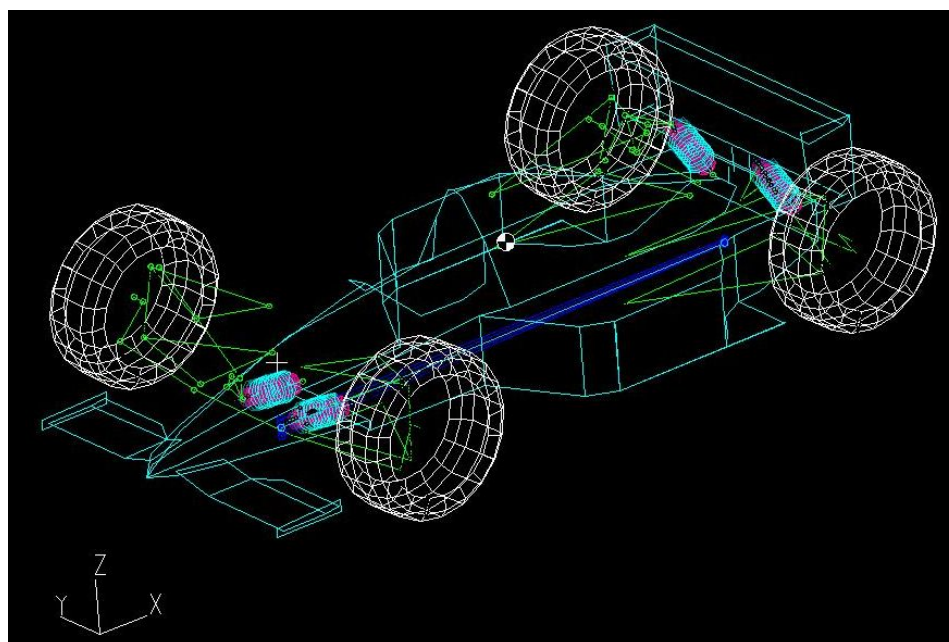
Pro vytvoření kinematického modelu byla využita školní licence programu Lotus Suspension Analysis, který umožňuje operativní změny souřadnic jednotlivých bodů zavěšení v prostoru dle potřeby a sledování všech charakteristik hlídaných parametrů při třech různých stavech, tj. propružení/odpružení, klopení a zatáčení. Podle získaných zkušeností týmu se zvolily statické hodnoty základních úhlů, viz tabulka.

Tab. 1; *Statické hodnoty základních úhlů přední nápravy*

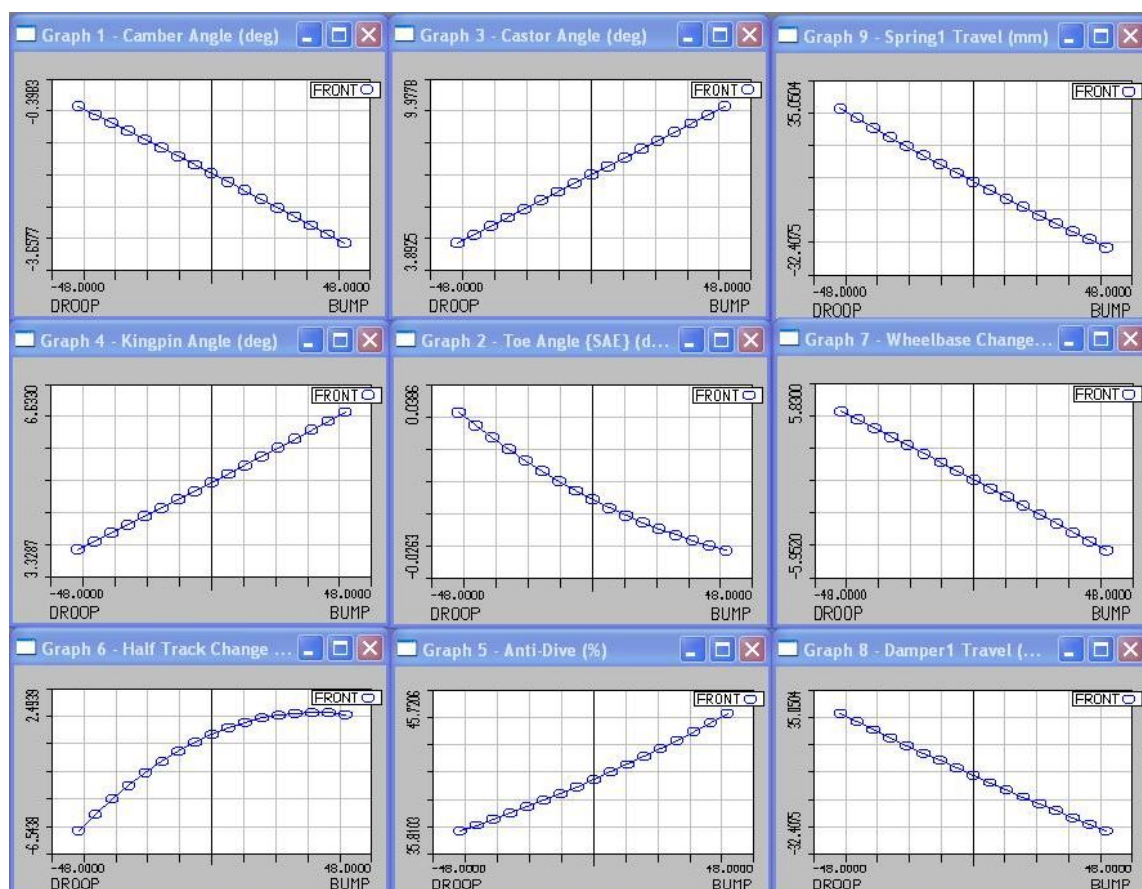
Odklon	-2°
Příklon	4,95°
Záklon	6,94°
Sbíhavost	0,35°
Poloměr rejdu	39 mm
Závlek	25 mm

Vytvořený model je zobrazen na obr. 5 a výčet charakteristik konečné verze přední nápravy je na obr. 6. Tyto charakteristiky znázorňují změnu jednotlivých důležitých veličin v závislosti na odpružení („droop“) a propružení („bump“). Podobné charakteristiky lze získat v závislosti na naklopení karoserie vlivem odstředivé síly a také v závislosti na natočení předních kol. Zde uvádím pouze první případ. Pokud budeme číst zleva doprava, tak první charakteristika znázorňuje změnu odklonu („camber angle“), a dále změnu záklonu („castor angle“), stlačení pružiny („spring rate“), změnu příklonu („kingpin angle“), změna sbíhavosti („toe angle“), změna rozvoru („wheelbase change“), změnu rozchodu („half-track change“),

funkce anti-dive a stlačení tlumiče („damper travel“), které je samozřejmě stejné jako stlačení pružiny. Další získanou a neméně důležitou hodnotou je výška středu klopení, která je ve statické poloze 51mm nad vozovkou a pohybuje se v intervalu <119 ; -16> při zdvihu kola 80mm.



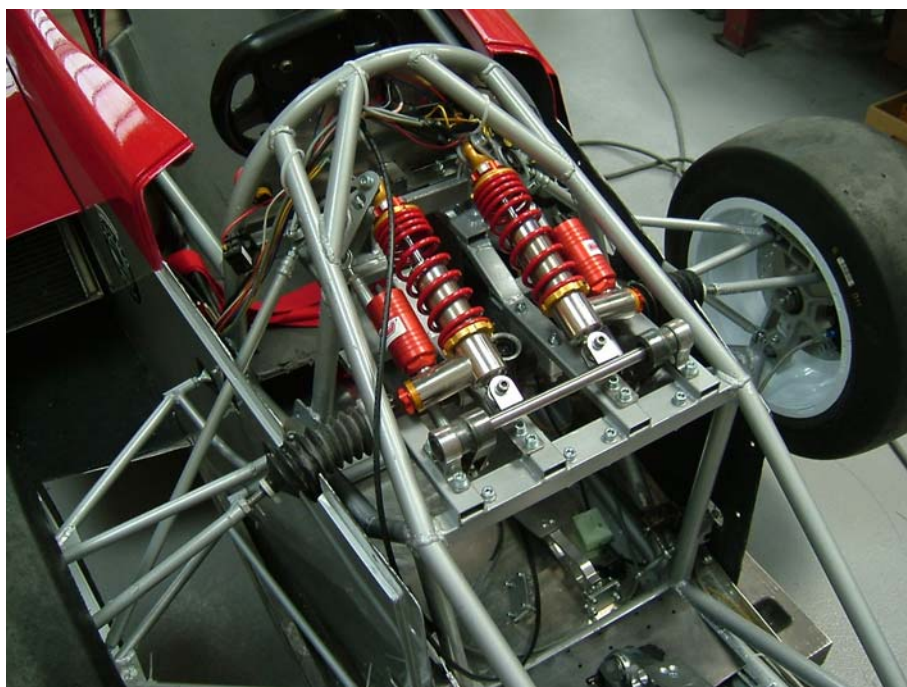
Obr. 5; Kinematický model v Lotus Suspension Analysis



Obr. 6; Průběhy charakteristik základních kinematických veličin v závislosti na odpružení a propružení

4. Konstrukční řešení přední nápravy

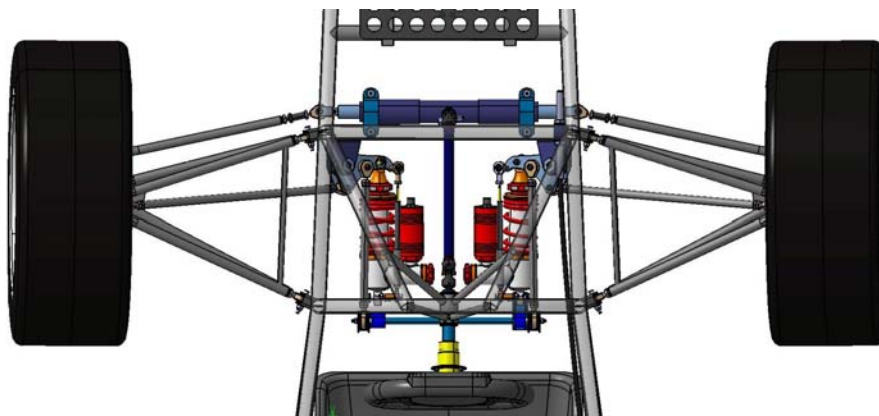
Po zvolení základní koncepce a návrhu kinematického modelu následuje samotný návrh konstrukčního řešení ve spolupráci s okolními konstrukčními celky na voze. Na minulém voze FS.01 bylo postupně zjištěno několik konstrukčních nedostatků a úkolem této práce je na tento vůz navázat a nedostatky vyřešit. Mezi hlavní nedostatky předchozího návrhu patří zejména špatná kinematika zapříčiněná nevhodným umístěním hřebene řízení nad ochranným prostorem, dále pevnostní namáhání lichoběžníkových ramen zavěšení, které se projevilo lomem kloubové hlavice, nemožnost demontovat brzdový kotouč bez vylisování kolového ložiska, špatný návrh celé sestavy řízení, kdy se nesplnil požadovaný maximální rejď při zatáčení, nedořešená prostorová zástavba komponentů, která zapříčinila zvýšení vozu a omezení pohybu jezdce v kokpitu, a spousty dalších nedostatků, které mimo jiné způsobily zvýšení celkové hmotnosti vozu na 339 Kg. Některá konstrukční řešení však byla velmi dobrá a proto se převzala nebo se alespoň použila základní myšlenka (např. jednoduchá změna odklonu kola pomocí distančních podložek, typ a velikost kolového ložiska apod.).



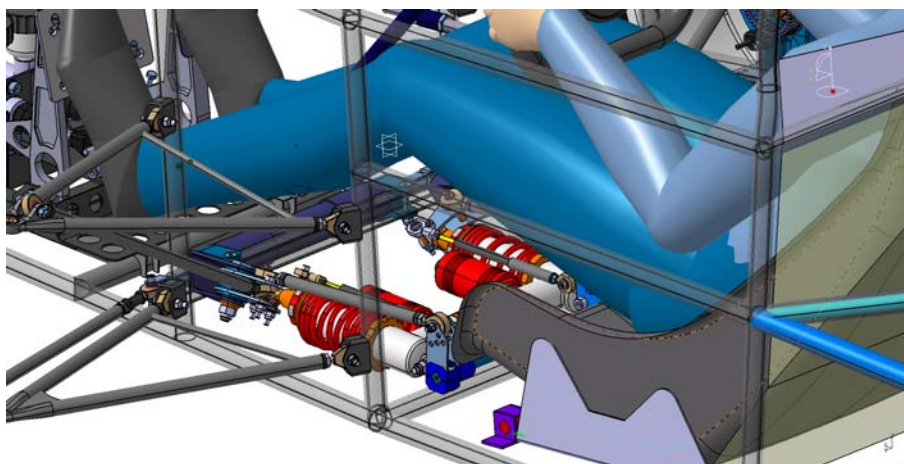
Obr. 7; Přední náprava předchozího vozu FS.01

Pro vytvoření modelu prototypového vozu se využilo CAD programu Catia V5 R17, ve kterém se vytvořil celý model vozu. Začít se muselo hrubým návrhem rozmístění všech důležitých komponent při znalosti obálkových rozměrových hodnot, které byly probrány již při volbě koncepce vozu. Po té následovalo modelování všech součástí do nejmenších detailů. Nutností tak prostorově náročného uspořádání komponent jako u této koncepce, kdy je vše umístěno mezi podlahou a ochranným prostorem, je hlídání kolizních situací všech pohyblivých součástí a sledování důležitých bodů, určujících kinematiku přední nápravy dle návrhu. K tomu musel být samotný model přizpůsoben a vytvořen tak, aby odpovídaly všechny stupně volnosti a byl reálně pohyblivý. Následovala celá řada kompromisů s ostatními celky vozu, tak aby se udržela navržená koncepce vozu FS.02. Vzhledem k tomu, že se jedná o realizovaný projekt, musí se při konstrukci také myslet na výrobní náročnost, výrobní kapacity, možnosti dodavatelů a rozpočet týmu. Součástí přední nápravy je i elektronika. Jedná se například o propracovaný systém kontroly trakce s využitím Hallova principu (tzv. Traction Control), měření úhlu natočení volantu či sledování stlačení tlumících

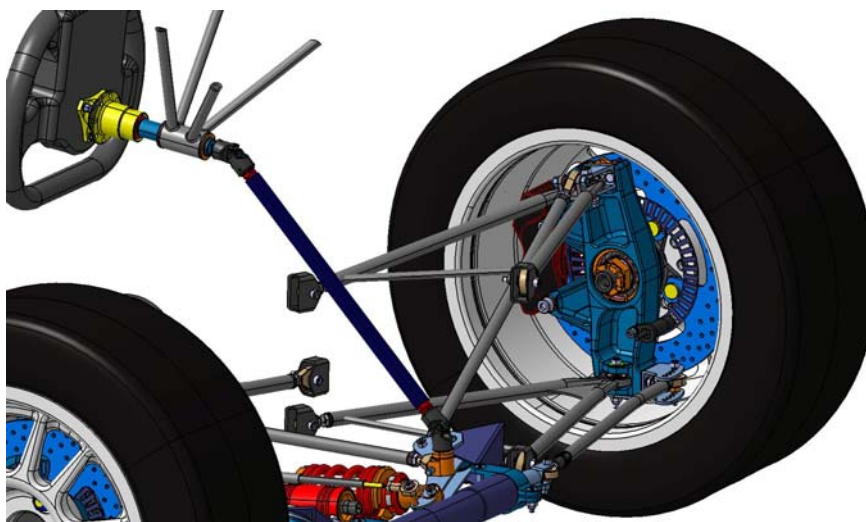
jednotek pomocí potenciometrů. To vše v součinnosti se zadní nápravou vozu. Na následujících obrázcích lze vidět několik pohledů na konečný model přední nápravy.



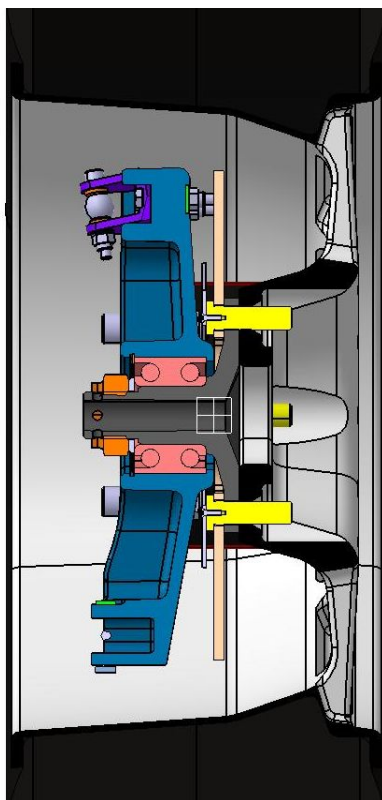
Obr. 8; Pohled na konstrukční řešení



Obr. 9; Pohled na konstrukční řešení



Obr. 10; Pohled na konstrukční řešení



Obr. 11; *Kolová skupina přední nápravy*

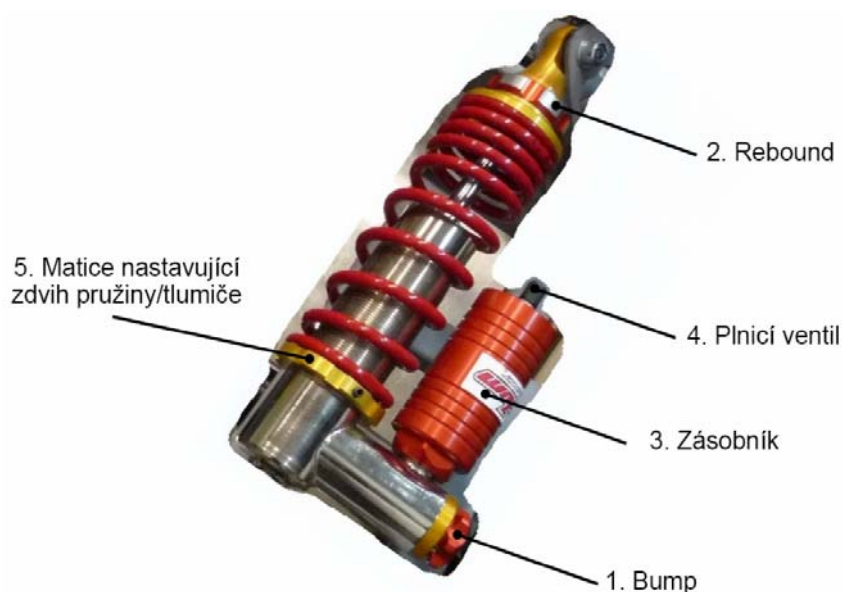
5. Systém odpružení

Jak již bylo řečeno, vůz FS.02 má na přední nápravě odpružení typu „pull-rod“. To znamená, že táhlo směřující od horního ramene dolů k vozu je namáháno na tah při propružení (stlačení tlumiče). Nespornou výhodou takového řešení je lepší rozložení namáhání ramen a příznivějšího namáhání táhla na tah (nevzniká vzpěr). Hlavní nevýhodou je velký sklon táhla, který způsobuje menší chod při pohybu kola. To znamená, že je potřeba větší poměr přepákování na vahadle od táhla k tlumiči a stabilizátoru.

Tlumicí jednotky jsou opět zvoleny od české společnosti Protlum, která nabízí zejména individuální řešení dle požadavků zákazníka. Bylo tak možné si tlumicí jednotku přizpůsobit dle konstrukčních možností a lépe se tak vypořádat se stísněným prostorem na podlaze vozu. Na tlumicí jednotce lze také nastavit předpětí pružiny, tlumicí schopnosti při odpružení a propružení odděleně a tlak ve vyrovnávací nádobce. Tuhost pružiny je pak volena dle požadavků na využití zdvihu tlumicí jednotky při různých stavech vozu.

Důležitou charakteristikou podvozkové skupiny je také vlastní úhlová frekvence. V odborné literatuře lze vyčíst několik doporučení, kde by se hodnota měla pohybovat pro závodní vozy. Hodnota vlastní úhlové frekvence musí být také na přední nápravě nižší než hodnota na zadní nápravě. Je to dáno skutečností, že přední náprava najede na nerovnost dříve než zadní náprava a aby se vůz nerozhoupal, měla by zadní náprava navázat na amplitudu kmitu přední nápravy, tzv. filtrace rozvorem. U FS.02 je hodnota vlastní úhlové frekvence 2,7 Hz na přední nápravě a na zadní nápravě 3,0 Hz. Z toho vyplívá tuhost přední tlumicí jednotky 53 N/mm a zadní jednotky 61 N/mm. Tyto hodnoty jsou také závislé na zdvihu a poměru přepákování, který je na přední a zadní nápravě jiný. Veškeré tyto výpočty jsou také obsahem vytvořeného programu v MS Excel.

Do systému odpružení také patří zkrutný stabilizátor, který vytváří moment proti momentu klopení. Tím vyrovnává karoserii při působení odstředivé síly v zatáčce a rozkládá síly na vnitřní a vnější kolo v závislosti na tuhosti zkrutné tyče. Předpokládané naklopení karoserie při průjezdu zatáčkou je $2^\circ/g$ a tuhost potřebné zkrutné tyče na přední nápravě je 230 Nm/rad a na zadní nápravě 257 Nm/rad . Rozdílná tuhost zkrutného stabilizátoru přední a zadní nápravy má pozitivní vliv na vrozenou nedotáčivost závodních vozů třídy Formula SAE, která je dána konstrukčním uspořádáním dle požadavků pravidel. Proto je přední náprava méně tuhá než zadní náprava.



Obr. 12; *Tlumičí jednotka společnosti Protlum
(zdvih 47mm, konstanta tlumení 850 Ns/m , tuhost 53 N/mm)*

6. Pevnostní analýzy hlavních součástí

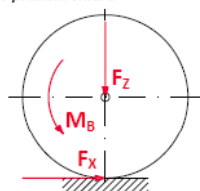
Hlavním cílem nové koncepce vozu FS.02 je snížení hmotnosti oproti FS.01 z 339 kg na 280 kg. Tato snaha se projevuje ve volbě kompozitních materiálů, speciálních slitin hliníku a hořčíku či konstrukcí z chrom-molybdenových polotovarů. Speciální materiály a objemové odlehčování většiny součástí samozřejmě vyžaduje podrobné pevnostní výpočty a analýzy, aby vydržely ty nejvyšší nároky závodního vozu této třídy.

Velký počet pevnostních výpočtů si vyžádalo vytvoření výpočtového programu MS Office Excel 2007, který obsahuje veškeré hlavní i vedlejší výpočty na podvozkové skupině. Jedná se například o výpočet tuhosti zkrutného stabilizátoru pro požadované naklonění karoserie, výpočet požadované tuhosti a poměrného útlumu pružicí jednotky, vlastních frekvencí modelu „čtvrt-auta“, výpočet všech majoritních sil působících na součásti a také jednotlivé základní pevnostní výpočty pro první přiblížení.

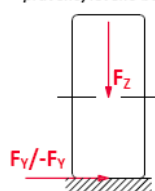
Tvarově složitější díly, kde rozložení pole namáhání je výpočtově velmi složité, se kontrolovaly a optimalizovaly metodou konečných prvků. K těmto analýzám se využila školní licence programu Abaqus 6.0.3 a Catia V5R17 s příslušným modulem. Aby výpočty byly validní, je důležitým krokem zvolení správného virtuálního uložení modelu a zavedení silových účinků takových, aby se co nejvíce blížily realitě. Pevnostní analýzy a následné optimalizace se dělaly například u těhlice, unášecí kola, přepákování a uložení pružicí jednotky, úchyty ramen apod.

Pro ilustraci je uveden část výpočtu přední těhlice. V zásadě je možných pět situací, do kterých se může vůz dostat (viz následující obrázek). Působící síly na jedno kolo v těchto situacích se vypočítali pomocí již zmíněného programu v MS Excel. Spočítané hodnoty však mají pouze statickou reprezentaci a nelze je tedy považovat za maximální. Musí se ještě vynásobit tzv. koeficienty statických násobků, které dynamické stavy dostatečně pokryjí. Hodnoty statických násobků a výsledné hodnoty působících sil lze vidět na následujícím obrázku. Pro samotné dimenzování těhlice se vybrala jedna jízdní situace, ve které na kolo působí nejvyšší možné síly. V našem případě je to situace na vnějším kole při průjezdu zatáčkou a současném brzdění. Pro zvolený typ uložení modelu v prostředí Abaqusu (viz dále) je potřeba ještě zavést brzdnu sílu od brzdového třmenu, jejíž velikost je 11 000 N. U přední říditelné nápravy je důležité, aby tato síla působila zejména v ose Z (kolmá na vozovku) a složka v ose X (ve směru vozu) byla nejlépe nulová, aby nevznikal na rameni mezi působištem síly a rejdovou osou žádný moment, který by negativně ovlivňoval řízení.

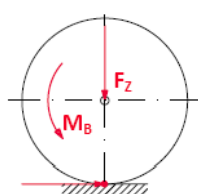
Obr. 2.9.3; Brzdící kolo v přímém směru



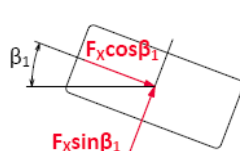
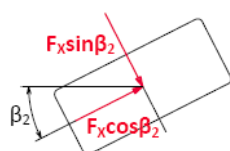
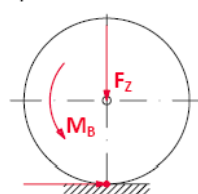
Obr. 2.9.4; Právě kolo na hranici pravého/levého bočního smyku



Obr. 2.9.5; Brzdící pravé kolo v levotočivé zatáčce



Obr. 2.9.6; Brzdící pravé kolo v pravotočivé zatáčce



Pokrytí dynamiky pomocí koeficientů statických násobků:

Statický násobek	Hodnota
ve směru x	2,0
ve směru y	2,0
ve směru z	3,0
při brzdění ve směru x	1,5
při brzdění ve směru z	1,0

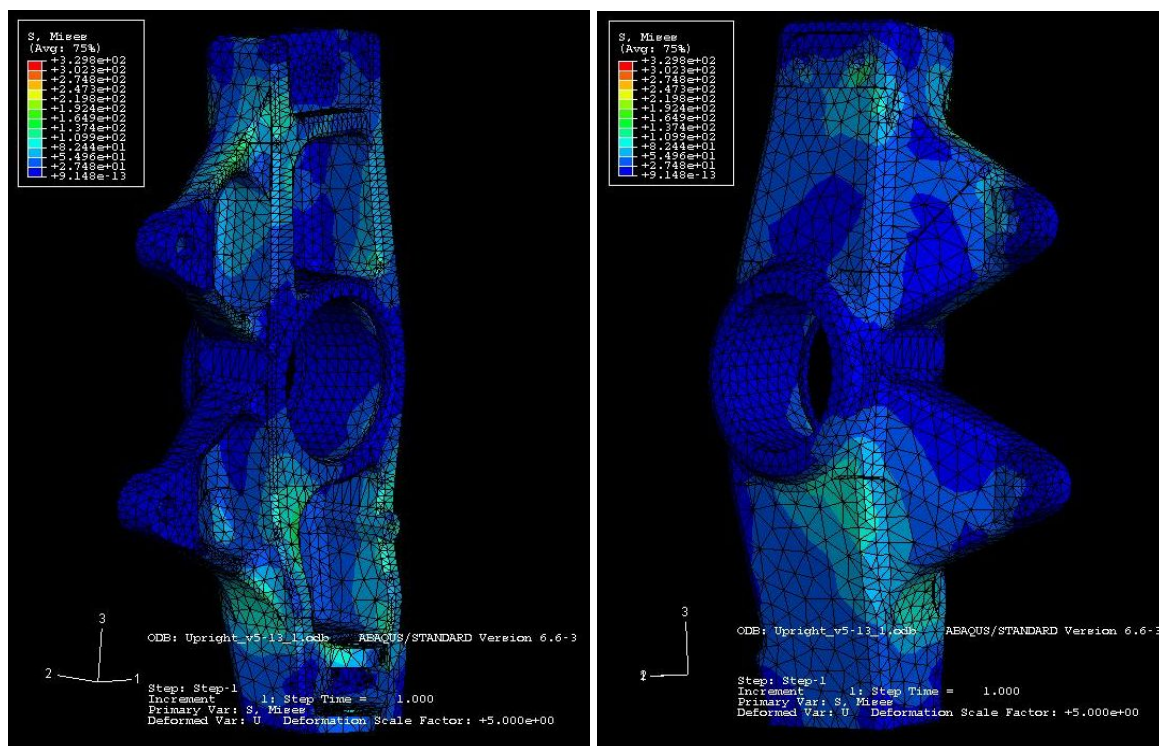
Hodnoty působících sil [N]:

Situace	Fx	Fy	Fz
1	3008,5	0	1337,1
2	0	4283,4	4283,4
3	0	-484,2	484,2
4	4165,8	5799,7	4825,9
5	1583,8	-484,2	1026,7

+ síla od brzdového třmenu $F_B = 11000 \text{ N}$

Obr. 13; Silové účinky na kolo v různých situacích a jejich hodnoty

Uložení modelu se provedlo tak, že se přiřadilo všem třem sférickým vazbám (horní rameno, dolní rameno a táhlo řízení) vetknutí, kterému se povolil určitý počet stupňů volnosti dle kinematiky celé soustavy. Silové účinky se potom zavedly přímo do kontaktu pneumatiky s vozovkou a na střední poloměr brzdového kotouče, kde lze uvažovat působíště reakční síly od brzdového třmenu. Takto proběhl nespočet pevnostních analýz a následných optimalizací. Opět pro základní ilustraci je uveden pouze část jedné pevnostní analýzy (viz následující obrázek).

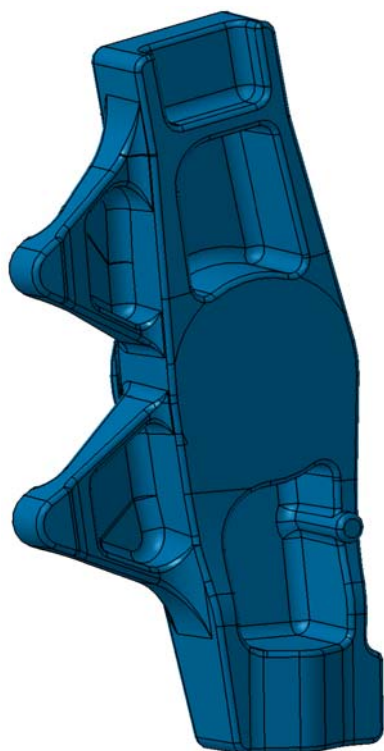


Obr. 14; Analýza namáhání přední těhlice metodou MKP

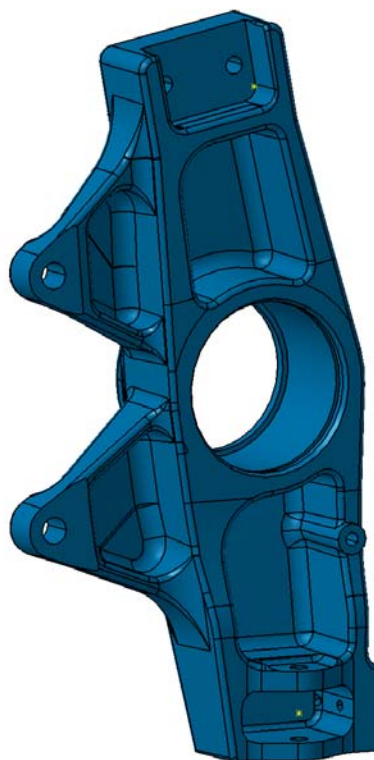
7. Stavba prototypu

Nedílnou součástí tohoto projektu je i stavba provozu schopného prototypu, se kterým se pak tým zúčastní mezinárodního závodu Formula Student Germany 2010. Pro tyto účely jsme dostali od Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel k dispozici výrobní prostory se základním dílenským vybavením. Momentálně disponujeme stojanovou vyvrtávačkou, soustruhem, strojní pilou, svářecí technikou apod. Dále jsme navázali spolupráci s dalšími částmi ČVUT v Praze, jako např. laserovým centrem, Ústavem strojírenské technologie, Ústavem pružnosti a pevnosti a to co nedokážeme pokrýt silami ČVUT v Praze, se zadalo partnerským firmám.

Technologie výroby FS.02 je v mnoha částech složitější než bylo u předchozího vozu FS.01. Příkladem lze uvést těhlici přední i zadní nápravy. S cílem co největšího odlehčení kolové skupiny vozu se jako materiál těhlice zvolila slitina hořčíku AZ 91 s výrobní technologií odlévání do písku. Je zřejmé, že tato technologie vnáší mnoho komplikací pro prototypovou výrobu. Nejen, že je cenově náročnější než jiné metody výroby prototypů, ale je potřeba provést celou řadu simulací odlévání. Simulacemi odlévání se zabývá diplomant z Ústavu strojírenské technologie Jaroslav Halda za účasti vedoucího diplomové práce Ing. Aleše Hermana Ph.D a i odlévání proběhne na tomto ústavu. Důležitým úkolem bylo vytvořit samotný model těhlice přizpůsobený právě této technologii tak, aby nevznikaly žádné komplikace, jako např. staženiny, pórovitost apod., a zároveň vyhovoval funkčním požadavkům závodního vozu této třídy. Formovací model je vyroben technologií Rapidprototyping společností Materialise, která se stala jedním z partnerů týmu a formovací přípravky s negativem těhlice budou obrobena frézováním z dřevěného materiálu společností Voborník. Hotový odlitek přední i zadní těhlice se nakonec nechá vyfrézovat na přesné rozměry společností SWELL, která se specializuje na prototypovou výrobu.

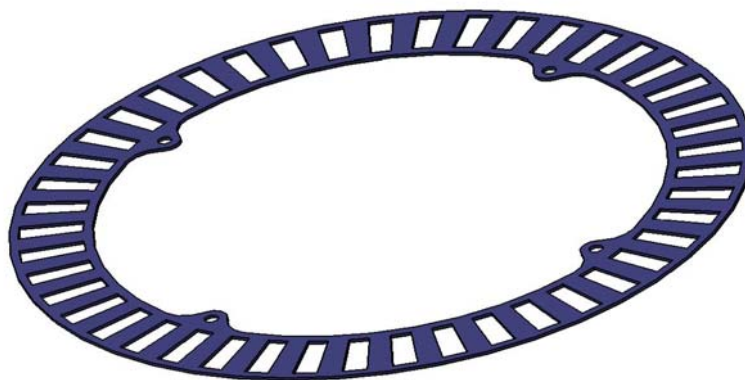


Obr. 15; *Odlitek přední těhlice*



Obr. 16; *Konečný obrobek přední těhlice*

Dalšími složitějšími částmi jsou přesné součásti z plechového polotovaru. Mezi ně patří kotouč systému kontroly trakce a vahadlo pružící jednotky. Vnitřní díry musí být vyrobeny s vysokou přesností, protože přímo ovlivňují chování vozu při jízdě. Proto se navázala spolupráce s Výzkumným centrem pro strojírenskou výrobní techniku a technologii (RCMT), které má k dispozici laserové centrum.



Obr. 17; *Kotouček systému kontroly trakce*

Na přední nápravě je také použito několik součástí z karbonového materiálu. Jedná se o kryt systému odpružení, který vlastně tvoří podlahu v kokpitu, a také sloupek řízení. Technologii výroby má v současnosti tým zvládnutou a s pomocí partnerských společností je schopen výroby takovýchto dílů. Na voze jsou použity i jiné kompozitové díly, jako například hnací hřídele, sedačka pilota, sendvičová část rámu, sací potrubí motoru, apod. Ostatní

součástí přední nápravy je možné obrobit konvenčními obráběcími stroji nebo vlastními silami.

Dále je potřeba zajistit testování prototypu. Vyrobený vůz se musí nejprve rozpohybovat a pak na něm vyladit veškeré detaily tak, aby byl konkurenceschopný mezi týmy z celého světa. Je to zdlouhavá a namáhavá práce s nejistým výsledkem. Nejlepší týmy světa, například Rennteam Uni Stuttgart již začíná s testováním v polovině dubna, aby měl na vše dostatek času. V našem plánu je začít testovat v průběhu května na letištní ploše u obce Chrást'any. Máme již zkušenosti z testování minulého vozu FS.01 a získali jsme spoustu kontaktů na odborníky, které jsou ochotni nám s tím pomoci, tak základní poznatky již máme. Detailní plánování průběhu testování teprve začíná a není možné tedy říct nic určitého. Důležité je jen vyhnout se předešlým chybám a celý proces testování více zefektivnit.

8. Závěr

Volba koncepce vozu FS.02 proběhla začátkem října 2009 a bylo snahou vycházet ze získaných zkušeností z vozu FS.01. S tímto vozem jsme se poprvé setkali s ostatními týmy z celého světa a měli jsme tak možnost poprvé nahlédnout do jejich kuchyně zblízka. Zjistili jsme, jakým směrem se máme vydat tak, abychom v nejbližších letech dokázali dohnat několikaletou ztrátu, co soutěž probíhá a vyrovnat se tak vyspělým konkurenčním týmům. Rozhodli jsme se proto jít od čistého papíru, navrhnout zcela novou koncepci a v rámci možností využít různá konstrukční řešení z FS.01. Bylo to velmi těžké rozhodnutí, neboť na konstrukci FS.02 jsme měli pouze 5 měsíců času, oproti 14 měsíců, co se konstruoval vůz FS.01.

Na podvozkové skupině bylo nutné navrhnout zcela nový kinematický model, zaměřit se na rozsáhlé nedostatky v konstrukčních řešeních, upravit vlastnosti vozu tak, aby lépe vyhovovaly tratím Formula SAE a zejména snížit celkovou hmotnost vozu z 339Kg na dohodnutých 280Kg. Pro dosažení těchto cílů začala intenzivní práce celého týmu na všech částech vozu a vzájemná spolupráce. Zvolila se celá řada speciálních materiálů (např. slitiny hořčíku AZ91, slitina hliníku 7075 T651 také známá pod názvem „letecký dural“, uhlíkové a kevlarové kompozitní materiály apod.) a různé nekonvenční výrobní technologie (laserové obrábění, vakuové laminování, rapid-prototyping, lepení aj.).

Od počátku byla nutností intenzivní komunikace s odborníky, průmyslem a potenciálními dodavateli, kde se během konstrukční práce zrodila kvalitní spolupráce (pro přední nápravu jmenovitě společnosti Protlum, SKF Automotive, SKF Racing, TRW, Spoilercentrum, Materialise a další). Dále pomocnou ruku nabídly různé ústavy ČVUT v Praze (Ústav strojírenské technologie, Ústav pružnosti a pevnosti, Ústav mechaniky tekutin a energetiky a další) a Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii.

Tato práce má velmi rozsáhlý charakter, což je dáno potřebou detailního propracování problému s cílem postavení funkčního prototypu schopného mezinárodních závodů Formula SAE a Formula Studen. Proto bohužel není možné popsat všechny získané výstupy v tomto dokumentu. V mých silách je pouze touto cestou obeznamit odbornou veřejnost s projektem, který má za cíl proslavit České vysoké učení technické v Praze na mezinárodním poli technických univerzit, nabídnout studentům všech fakult a ústavů zajímavý projekt s vysokým potenciálem, kterého se mohou bez rozdílu zúčastnit a zpestřit studium realizovatelnou a atraktivní studentskou prací.

Seznam použité literatury

- [1] APETAUR, Milan; STEJSKAL, Vladimír. *Motorová vozidla VI*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1979. 124 s.
- [2] LEINVEBER, Jan; ŘASA, Jaroslav; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, spol. s r. o., pedagogické nakladatelství, 2000. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [3] SVOBODA, Jiří. *Teorie dopravních prostředků – Vozidla silniční a terénní*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 213 s. ISBN 80-01-03005-9.
- [4] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003. 392 s. ISBN 80-239-0026-9.
- [5] MILLIKEN, William F.; MILLIKEN, Douglas L. *Race car vehicle dynamics*. USA: Society of Automotive Engineers, Inc., 1995. 890 s. ISBN 1-56091-526-9.
- [6] TRZESNIEWSKI, Michael. *Rennwagenteknik*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2008. 866 s. ISBN 978-3-8348-0484-6.
- [7] VAN BERKUM, A. *Chassis and suspension design FSRTE02*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2006. 118 s.
- [8] SKF. *Kuličková ložiska s kosouhlým stykem – katalog*. SKF [online]. [cit.2009-11-22]. 64 s. Dostupné na WWW: http://www.skf.com/portal/skf_cz/home/products?contentId=259690&lang=cs.
- [9] HESTERINI, Pavel. *Optimalizace konstrukce přední nápravy vozu formule Student/SAE: Bakalářská diplomová práce*. Praha: ČVUT Fakulta strojní, 2009. 60 s.
- [10] ŘASA, Jaroslav; ŠVERCL, Josef. *Strojnické tabulky I*. Praha : Scientia, spol s.r.o., 2004. 753 s. ISBN 80-7183-312-6.
- [11] FIALA, Jaromír; BEBR, Adolf; MATOŠKA, Zdeněk. *Strojnické tabulky I*. Praha : SNTL, 1987. 876 s.
- [12] KOVANDA, Jan; RESL, Ivo; SOCHA, Jiří. *Konstrukce automobilů – Pérování vozidel*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1997. 120 s. ISBN 80-01-01624-2.