



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Ústav dopravních prostředků

Konstrukce motocyklu pro soutěž MotoStudent

Návrh rámu

Motorcycle construction for the MotoStudent competition

Frame design

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Inteligentní dopravní systémy

Vedoucí práce: Ing. Jiří First

Michal Růžička

Praha 2016



K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Michal Růžička

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Konstrukce motocyklu pro soutěž MotoStudent -
návrh rámu**

Název tématu (anglicky): Motorcycle construction for the MotoStudent competition -
frame design

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:


- seznámení se s pravidly a předpisy projektu MotoStudent
- přehled konstrukcí rámu motocyklů
- ve smyslu podmínek projektu návrh rámu motocyklu k účasti v soutěži
- návrh metody pevnostní kontroly rámu
- početní kontrola pevnosti rámu



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Pravidla a předpisy projektu MotoStudent
Puchmajer P., Pružnost a pevnost, Vydavatelství ČVUT, 2005
Vlk F., Teorie a konstrukce motocyklů, František Vlk, 2004

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří First**

Datum zadání bakalářské práce: **26. června 2014**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **25. srpna 2016**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


.....
doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků


L. S.

.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Michal Růžička
jméno a podpis studenta

V Praze dne 3. prosince 2015

Poděkování

Velmi rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Firstovi za jeho ochotu a nespočet rad, tento projekt je živ hlavně díky němu. Dále Pavlu Firstovi a jeho synům za to, že nás nechali pracovat u nich v dílně v Hodkovičkám a po celou dobu vývoje dávali cenné rady.

Dále bych rád poděkoval Oldřichu Kreuzovi, Jiřímu Stloukalovi, Ing. Miloslavu Vackovi a Ing. Martinu Molcarovi za odborné konzultace a připomínky.

V neposlední řadě patří můj dík členům našeho fakultního týmu CTU Lions a mé rodině za podporu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám žádný závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 25. 8. 2016

.....
Michal Růžička

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je návrh rámu a zbytku podvozku silničního závodního motocyklu pro soutěž MotoStudent 2016. Práce obsahuje stručnou rešerši motocyklových rámu, podrobná technická pravidla soutěže a jako stěžejní část je popis navrženého rámu pro náš prototyp. Motocykl je navržen v souladu s pravidly soutěže MotoStudent. Vývoj rámu probíhal dříve než výroba, a proto je možné, že výsledný zhotovený rám se bude mírně lišit od návrhu, ale koncept bude zachován.

Klíčová slova

MotoStudent, motocykl, silniční závodní motocykl, rám, kyvná vidlice, vývoj, návrh, konstrukce, prototyp, podvozek, Moto3, Honda CBR 250 R

Abstract

The subject of the thesis is design of frame and rest of the chassis for road racing motorcycle for MotoStudent 2016 competition. This work contains a brief search of motorcycle frames, detailed technical rules of the competition and as crucial part is description of the proposed frame of our prototype. Motorcycle is designed in accordance with the rules of the competition MotoStudent. Development of the frame took place before production, so it's possible that the finished frame will vary slightly from the proposal, but the concept will be retained.

Keywords

MotoStudent, motorcycle, road racing motorcycle, frame, swingarm, development, design, construction, prototype, chassis, Moto3, Honda CBR 250 R

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Konstrukce rámu motocyklů	9
2.1	Podvozek.....	9
2.2	Rám	9
2.2.1	Trubkové rámy	10
2.2.2	Lité rámy	10
2.2.3	Lisované rámy	11
2.2.4	Kombinované rámy	11
2.2.5	Otevřené a uzavřené rámy.....	11
2.3	Nejpoužívanější typy rámu.....	12
2.3.1	Jednoduchý rám.....	12
2.3.2	Dvojitý rám	13
2.3.3	Páteřový rám	13
2.3.4	Mostový rám	14
2.3.5	Obvodový rám.....	14
2.3.6	Příhradový trubkový rám	15
2.3.7	Monokok	15
2.3.8	Karbonový rám.....	16
2.3.9	Budoucnost rámu.....	16
3	Soutěž MotoStudent 2016	16
3.1	O soutěži.....	16
3.2	O našem týmu	17
3.3	O prototypu	17
3.4	Technická pravidla a omezení od Organizace.....	18
3.4.1	Rozměry	18
3.4.2	Hmotnost.....	21
3.4.3	Ergonomie	21
3.4.4	Rám	22
3.4.5	Protektory	22
3.4.6	Kapotáž.....	22
3.4.7	Blatníky	22
3.4.8	Řízení: řídítka a stupačky	23
3.4.9	System brzdění	23
3.4.10	Tlumiče.....	24
3.4.11	Systemy řízení.....	24
3.4.12	Ráfky a pneumatiky	25

4	Návrh podvozku pro prototyp CTU5	26
4.1	Přední vidlice	27
4.1.1	Přední pneumatika a ráfek.....	27
4.1.2	Přední tlumiče	27
4.1.3	Uchycení předního odpružení	28
4.1.4	Uložení předního kola	29
4.1.5	Přední brzda.....	30
4.1.6	Hlava řízení	31
4.2	Rám	32
4.2.1	Bočnice.....	34
4.2.2	Hlavní trubky.....	35
4.2.3	Spojení mezi bočnicemi a hlavními trubkami	37
4.2.4	Přední držáky motoru a jejich spojení k hlavním trubkám.....	38
4.3	Zadní kyvná vidlice.....	39
4.3.1	Zadní pneumatika a ráfek	40
4.3.2	Uložení kyvné vidlice.....	40
4.3.3	Zadní tlumicí jednotka	41
4.3.4	Design kyvné vidlice	42
4.3.5	Napínání řetězu	43
4.3.6	Zadní řetězové kolo	44
4.3.7	Zadní brzda.....	44
5	Ověření funkčnosti návrhu	44
5.1	Výpočet správné funkce zadního tlumiče	44
5.2	Ergonomie	46
5.3	Statická simulace.....	48
6	Závěr	49

1 Úvod

V roce 2014 byl na výukovém projektu Bezpečný motocykl při Ústavu dopravních prostředků K616 založen fakultní tým CTU Lions. Tento tým vznikl za účelem přihlásit se do soutěže MotoStudent 2015/2016, která je organizována španělskou nadací MEF ve spolupráci se závodním areálem ve španělsku Technopark MotorLand Aragón. Do tohoto projektu jsou přihlášeny univerzity z celého světa. Cílem projektu je navrhnout a zhotovit silniční závodní motocykl svými rozměry velmi podobný závodní kategorii Mistrovství světa Moto3. Všechny zúčastněné týmy musí použít stejné komponenty jako je motor, brzdy, ráfky a pneumatiky. Tyto komponenty nám poskytla přímo pořadatelská organizace a byly v ceně přihlášky do soutěže. V soutěži se hodnotí popis a návrh konstrukce motocyklu, simulace a výpočty všech možných parametrů, inovační aspekty, návrh sériové výroby a jeho ekonomická analýza. Následuje série statických a dynamických zkoušek prototypu a nakonec, pokud jimi úspěšně projde a technická přejímka bude v pořádku, tedy pokud prototyp bude splňovat všechny podmínky sepsané v pravidlech soutěže, bude se tým moci zúčastnit závodu. Soutěž se bude konat na začátku měsíce října 2016.

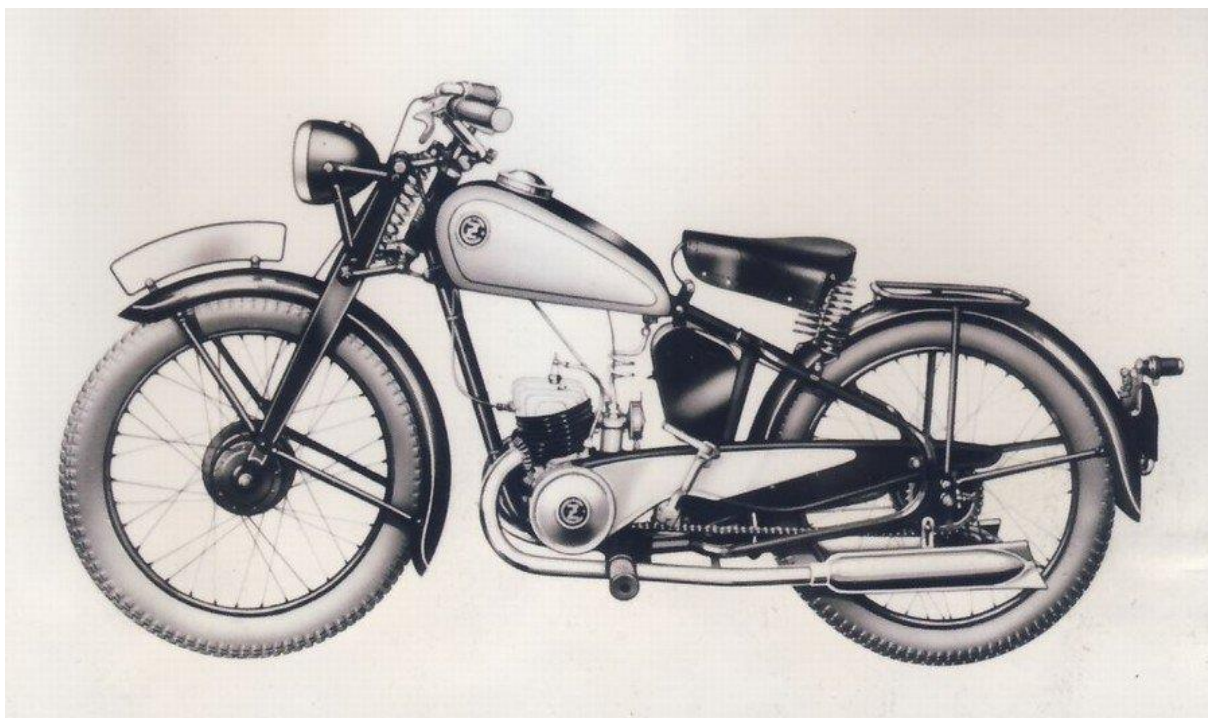
V úvodu této práce jsem sepsal stručnou rešerši používaných motocyklových rámu. Podvozkem je myšlena přední vidlice, samotný rám a zadní vidlice včetně použitých tlumičů. Přiblížím i používané rámy přímo pro Moto3 kategorii, což jsou naši potenciální konkurenti. Dále nastíním pravidla soutěže MotoStudent, kterým musel návrh podléhat. Popíši postup návrhu podvozku pro náš prototyp, jeho části a odůvodním jejich jednotlivé použití. Na závěr zhodnotím celý podvozek prototypu.

Při psaní této práce nebyl podvozek ještě zcela zhotoven a některé části se navrhují až při výrobě, proto je možné, že finální zhotovený rám prototypu se bude mírně lišit od návrhu popsáno v této práci. Na rámu mohou být provedeny některé úpravy k zlepšení jeho funkce. Nicméně při výrobě se snažíme co nejvíce držet mnou dodané dokumentace a výkresů. Také se občas mění materiál a jeho tloušťka, protože používáme to, co zrovna je k dispozici.

2 Konstrukce rámu motocyklů

2.1 Podvozek

Podvozek je základní částí motocyklu, jehož konstrukce má zásadní vliv na jeho jízdní vlastnosti a musí plnit mnoho různých funkcí. Je to souhrnný název pro několik částí motocyklu, které ve spojení s ostatními částmi motocyklu vytvářejí jeden celek. Klasický jednoduchý uzavřený trubkový rám s přední paralelogramovou vidlicí byl po desetiletí nejúspěšnější koncepcí řešení podvozku motocyklu. Teprve až v padesátých letech 20. století začali převládat podvozky s teleskopickou přední vidlicí nad vahadlovými a začíná i rozmach strojů s odpruženým zadním kolem – nejdříve s kluzákovým odpružením, poté většinou pomocí kyvné vidlice s dvojicí tlumičů. [2]



Obrázek 1 - ČZ 125 A (1946-1947) s vahadlovou přední vidlicí a napevno přidělané zadní kolo k rámu [7]

Umístění motoru uprostřed rámu spolu s pohonem zadního kola, přední teleskopickou vidlicí, zadní kyvnou vidlicí, se stal hlavním rysem moderní konstrukce podvozku klasického motocyklu, který má zásadní vliv na jízdní vlastnosti motocyklu a musí plnit mnoho různých funkcí. [1]

2.2 Rám

Rám jednostranného vozidla váže vozidlové dílce a montážní skupiny v pevný celek. Vytvořit rám není jen problém konstrukční, ale i výrobní. Sloučit správnou konstrukci s možností výroby je požadavek, který se musí uplatňovat již od počátku vývoje rámu motocyklu. Rám musí splňovat následující

požadavky – musí být tuhý, odolný proti dynamickému namáhání, musí být necitlivý k chvění motoru, musí umožňovat výhodné umístění všech ústrojí, měl by být, lehký. [2]

Podle nosné části rámu můžeme jednostopá vozidla dělit na motocykly se samonosným nebo nosným rámem. Samonosné rámy nejsou u motocyklů tak využívané jako u automobilů, ale v této době se konstruktéři snaží motocykly takto inovovat a do budoucna tomu přikládám velký význam. Příkladem dneška mohou být některé skútry, malé motorky, některé motocykly značky jako Kawasaki, BMW či Ducati a jiné inovativní prototypy.

Kompletní rám motocyklu je tvořen uložením pro hlavu řízení, držáky motoru, sedlovou částí a uložením kyvné vidlice. Tyto části jsou navzájem spojené, většinou svařené, a tvoří tak jednu část nebo mohou být některé části odnímatelné. Například sedlová část může být k rámu přidělaná šroubovým spojením a může tak být vyměněna.

Rám má nejlepší vlastnosti, když je vzdálenost mezi hlavou řízení a uložením pro kyvnou vidlici co nejmenší. Má pak větší tuhost a lépe snáší namáhání na ohyb a krut.

Motocykly s nosným rámem můžeme dále dělit na uzavřené a otevřené. Podle druhu výroby na trubkové, lité, lisované a kombinované.

2.2.1 Trubkové rámy

Nejstarší a nejjednodušší konstrukce rámu, vychází z jízdních kol. Tyto konstrukce jsou pro motocykly vhodné. Jejich hlavními přednostmi jsou vysoká pevnost, nízká hmotnost a velká tuhost. Obrovskou výhodou je i výroba. Na tento typ rámu není potřeba velké množství nákladných výrobních zařízení. Pro kusovou ale i sériovou výrobu postačí pouze svařovací přípravek pro upnutí rámu, řezací a ohýbací stroj. Trubky se většinou spojují svařením, zřídka kdy se i pájí natvrdo do spojek nebo se sešroubovávají. Průřezy trubek se používají kruhové, čtyřhranné a oválné (elipsovité). Po svařování vzniká v rámu pnutí, proto je u některých druhů oceli nutno rám normalizačně žíhat.

Dobře provedené trubkové rámy jsou tuhé a lehké. Jsou vhodné pro menší série a spíše pro závodní účely. Nejchoulostivějším místem rámu je hlava řízení. Zde vznikají špičková napětí, a proto je třeba spojení trubek s hlavou nějakým způsobem zesílit. Jednou z možností je například zesílení svařovaného spojení trubek pomocí styčnickových plechů (plochých výztuh). Existují další metody zesílení spojení trubek s hlavou řízení, tyto metody se však odvíjejí od oblasti použití motocyklu a celkové koncepce rámu (jiná konstrukce rámu například pro motocykly pro jízdu v terénu). [2]

2.2.2 Lité rámy

Nejmodernější druh rámu. Litým materiálem jsou lehké slitiny, které už sami o sobě jsou velkou výhodou. Využívá se hlavně hliníku, který je oproti konvenční oceli mnohem lehčí s velmi podobnou tuhostí celku.

2.2.3 Lisované rámy

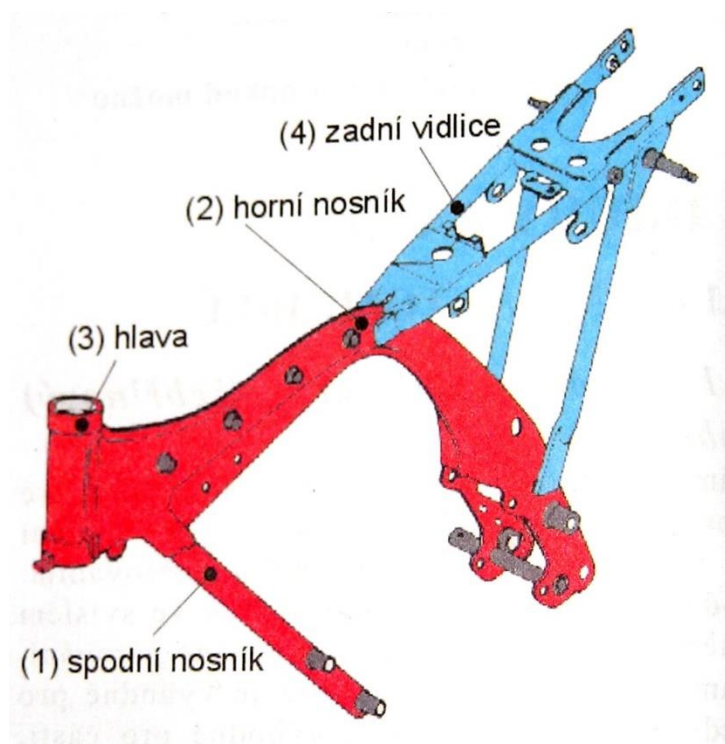
Tyto rámy mají uplatnění hlavně při sériové výrobě. Jsou velmi pevné a lehké, ale nevyplátí se na malokusovou výrobu. Je zapotřebí nákladných velkých strojů na výrobu výlisků. Konstrukce lisovaného rámu je většinou páteřová, tedy středový uzavřený profil na jednom konci s hlavou řízení a na druhém uložení kyvné vidlice a úchyty na sedlovou část, nebo obvodová.

2.2.4 Kombinované rámy

Jak už název napovídá, jedná se o kombinaci výlisku, odlitku nebo výkovku s trubkami. Nejvíce namáhané části tak nemusí být svařované jako v případě trubkového rámu, ale mohou být nahrazeny například odlitkem z lehké slitiny.

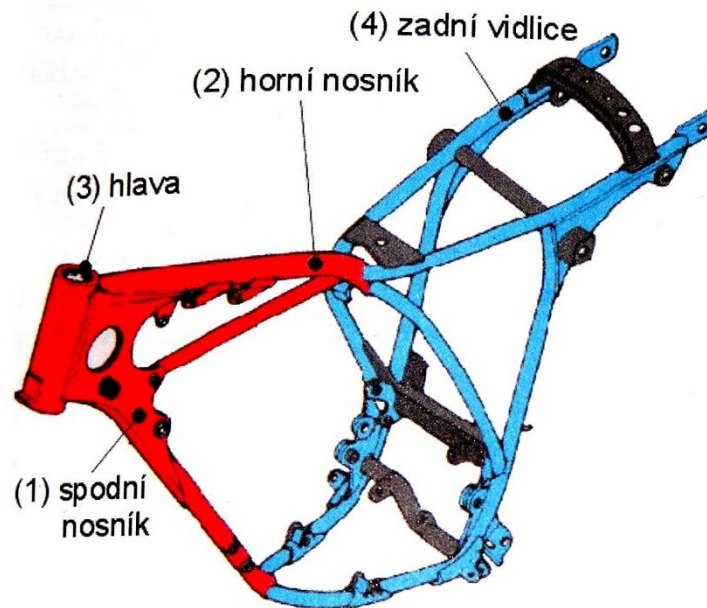
2.2.5 Otevřené a uzavřené rámy

Podle konstrukce nebo lépe podle využití motoru jako nosného prvku můžeme dělit rámy na otevřené a uzavřené. Otevřený rám má motor využitý jako nosný prvek, protože nahrazuje část rámu. Všechny otevřené rámy mají společný znak a to přerušené spodní nosné trubky. Jejich výhodou bývá, pokud je rám dobře navržen, jednoduchá montáž motoru do rámu, lepší přístup jak k motoru, tak k jiným komponentům motocyklu a v neposlední řadě i nižší hmotnost. Ovšem nevýhodou je nižší tuhost celku.



Obrázek 2 - Otevřený rám [8]

Uzavřené rámy mají vytvořenou smyčku kolem motoru. Motor je tedy do konstrukce pouze vložen a nepřenáší žádné síly. Takto řešená konstrukce má vyšší tuhost, a proto se používá hlavně u terénních motocyklů. Mezi hlavní nevýhody patří vyšší hmotnost a zhoršený přístup k motoru.

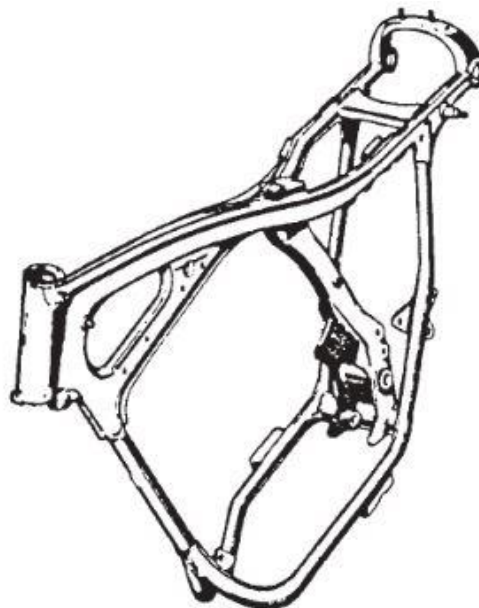


Obrázek 3 - Uzavřený rám [8]

2.3 Nejpoužívanější typy rámu

2.3.1 Jednoduchý rám

Mohou být otevřené nebo uzavřené. Uzavřený jednoduchý rám je nejstarší používanou konstrukcí, která vychází z jízdního kola. Hlavní nosná trubka je přivařena k hlavě řízení. Z hlavy řízení jde jedna nebo dvě trubky pod motor a dozadu k uložení zadní kyvné vidlice. Otevřený jednoduchý rám má motor jako nosný prvek a svojí konstrukcí se velmi podobá páteřovému rámu. Jejich hlavní nevýhodou je menší tuhost v bočních deformacích.



Obrázek 4 - Jednoduchý uzavřený rám Honda CL 350 Scrambler (1968) [9]

2.3.2 Dvojitý rám

Tento typ konstrukce je podobný jednoduchému rámu s tím rozdílem, že přední nosné trubky jsou zdvojené. Tento typ mívá většinou uzavřenou konstrukci, takže motor je uchycen z obou stran jak nahoře tak dole.



Obrázek 5 - Rozdvojený uzavřený rám BMW R90/6 (1974) [10]

2.3.3 Páteřový rám

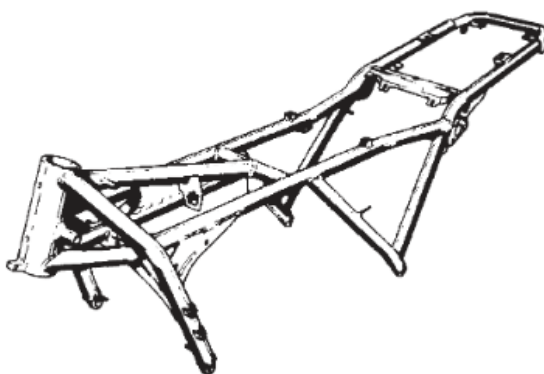
Páteřový rám je jednoduchá a elegantní konstrukce. Je svým způsobem inspirován lidskou kostrou, která má jako základní nosný prvek páteř, na kterou je zbytek těla napojen. Rám je tedy tvořen páteří, což je hlavní nosný prvek a k ní je připevněn motor jako další nosný a výztužný prvek. Tento typ rámu je vhodný pro všechny velikosti motorů a jeho výroba není nikterak složitá a nákladná. Jeho nevýhodou je menší tuhost. Jeho využití je hlavně u cestovních a tzv. „naked-bike“ motocyklů.



Obrázek 6 - Páteřový uzavřený rám Honda CB900F Hornet (2002) [11]

2.3.4 Mostový rám

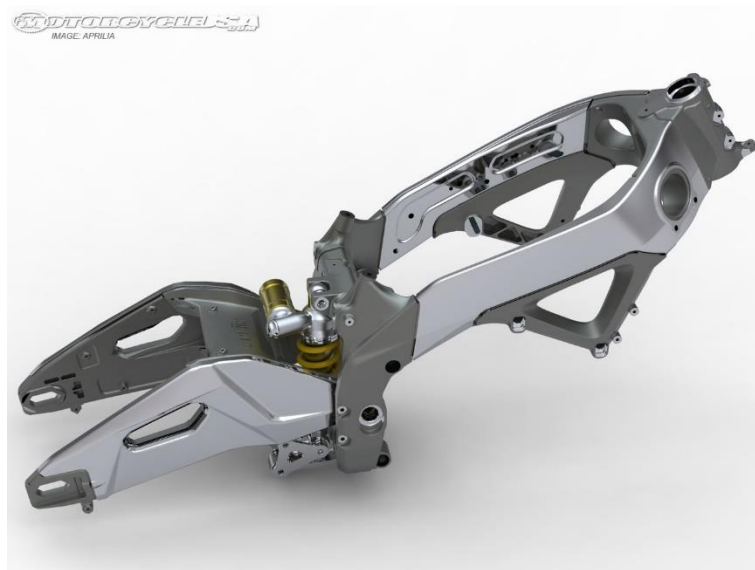
Tento typ se velmi podobá dvojitému otevřenému rámu. Od ostatních typů se liší tím, že má pouze dva ze tří stavebních prvků každého rámu a to horní zdvojené nosné trubky a sedlovou část, chybí uložení pro kyvnou vidlici. Motor je zavěšen na nosných trubkách, sám o sobě je součástí rámu a nosným prvkem. Uložení kyvné vidlice je přímo na skříni motoru. Nejčastěji se setkáme s příhradovým provedením.



Obrázek 7 - Mostový rám BMW K 100 (1983) [9]

2.3.5 Obvodový rám

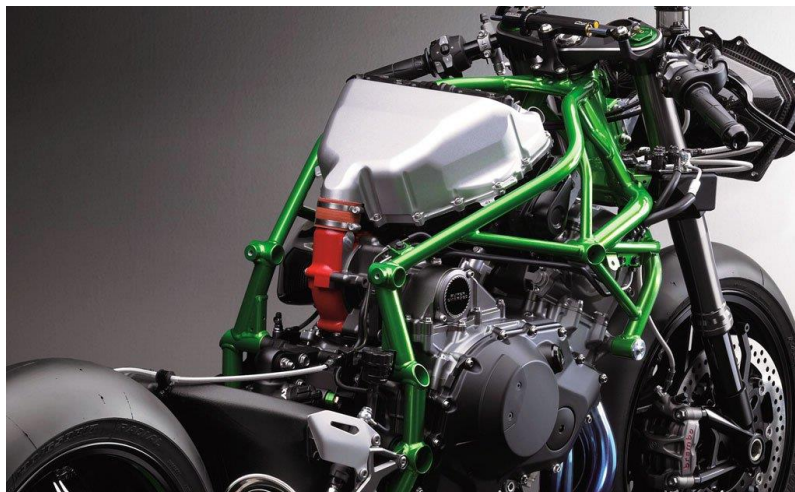
Je to v současné době nejpoužívanější konstrukce. Rám je obdobou dvojitě otevřené konstrukce, většinou ze slitin hliníku nebo masivních nosných trubek. Dva nosné profily vedou od hlavy řízení kolem motoru k uložení kyvné vidlice v co nejpřímějším směru. V přední části profilů jsou svedeny úchyty na motor a u uložení kyvné vidlice jsou další. Sedlová část je také zdvojena z menších profilů. Hojně je využíván japonskými výrobci u sportovních motocyklů. Velmi často jsou označovány jako tzv. „deltaboxy“.



Obrázek 8 - Deltabox Aprilia RSV4R (2010) [12]

2.3.6 Příhradový trubkový rám

Velmi elegantní řešení konstrukce rámu je příhrada. Tyto rámy se většinou vyrábějí z tenkostěnných bezešvých trubek z oceli zušlechtěné chrom-molybdenem. Příhradové rámy vynikají velkou tuhostí bez zvýšení hmotnosti. Při správném využití motoru jako nosného prvku stačí velmi málo trubek, tudíž je rám lehký a přitom tuhý. Vhodným příkladem je nová Kawasaki H2R. Konstrukce této motorčky dokazuje, že při dostatečném zapojení pohonné jednotky jako nosného prvku rámu se lehká příhradová páteř z oceli může vyhoupnout svými vlastnostmi nad hliníkové svařence. [3]



Obrázek 9 - Příhradový rám Kawasaki H2R (2015) [13]

2.3.7 Monokok

Monokok je samonosná prostorová konstrukce a další variací páteřového rámu. Slovo monokok lze přeložit jako skořepinu nebo jako samonosný potah (v letectví). Monokokové rámy dnes mohou být z různých materiálů, ale u motorek se nejčastěji objevuje v hliníkovém provedení. Tyto typy rámu nebývají v motocyklech určených pro širokou veřejnost. Mimo závodní okruh a výstavy se s nimi můžeme setkat například u Kawasaki ZX-12R nebo nové Ducati 1299 S Panigale. Problémem této konstrukce je většinou větší hmotnost, proto se využívá u velkých motorů. [3]



Obrázek 10 – Monokokový rám Kawasaki ZX-12R (2006) [14]

2.3.8 Karbonový rám

Karbon je v dnešní době brán jako materiál s velkou pevností, tuhostí, přitom je velmi lehký a je možné jej vymodelovat téměř do jakéhokoliv tvaru. Jeho pružnost a tuhost může být ovlivněna strukturou vláken, tudíž je možné udělat rám tuhý a pružný v různých směrech a osách. Příkladem mohou být některé motocykly skrz všechny kategorie v závodní sféře.

Hlavním důvodem, proč se od karbonových rámu upustilo, je hystereze tohoto materiálu. Ta popisuje míru, jakým způsobem je energie přenášena materiálem. U karbonových rámu nežádoucí vibrace takřka úplně zmizí, ale tím i veškeré informace, které tyto vibrace poskytovali (informace o kontaktu předního kola s asfaltem, které jsou pro jezdce velmi důležité). [4]

2.3.9 Budoucnost rámu

Tovární značky motocyklů a konstruktéři se neustále snaží inovovat a přicházet s novými nápady pro konstrukci motocyklů. Neustále se snaží co nejvíce využít motoru jako nosného prvku a tím zmenšit rám. Nicméně rám sám o sobě nikdy z konstrukce motocyklu nezmizí, protože díky němu drží motocykl pohromadě a jsou na něj přidělané další komponenty. Inovace jsou také v použitých materiálech, již nyní existují prototypy, které byly vytištěny na 3D tiskárně a podobně.

3 Soutěž MotoStudent 2016

3.1 O soutěži

Jak bylo již stručně popsáno v úvodu, soutěž MotoStudent vznikla pod záštitou španělské nadace MEF - Moto Engineering Foundation a závodního areálu Technopark Motorland Aragón (dále jen „Organizace“) a nyní to bude již 4. ročník této akce. Projekt je obdoba již dlouho běžícího FormulaStudent, do které je zapojeno mnoho českých univerzit. Cílem studentských týmů z celého světa je postavit závodní motocykl velmi blízký kategorii Moto3 v Mistrovství světa silničních motocyklů. Všechny týmy dostaly hlavní komponenty stejné a musí je zabudovat do svého prototypu. V rámci vývoje je nutno udělat návrh modelu, statické a dynamické simulace modelu, reálně ověřit mechanické vlastnosti prototypu a otestovat jeho provozuschopnost. Nicméně, soutěž není zaměřena pouze na vývoj prototypu, ale i na plánování teoretické sériové výroby, její koncepci výroby a technologické postupy a v neposlední řadě i ekonomickou analýzu a management.



Obrázek 11 - Logo soutěže MotoStudent [5]

Celá soutěž je rozdělná na dvě hlavní části MS1 a MS2. První MS1 je předvedení projektu studenty. Od října 2015 jsme museli průběžně plnit milníky, kterými jsme dokazovali, že na projektu pracujeme a jakým směrem se ubíráme. Na konci června 2016 bylo nutné odevzdat celý maximálně 150 stránkový dokument, v anglické jazyce, o celém projektu Organizaci do Španělska. Celý projekt obsahuje již zmíněných 5 sekcí. Poté, co jej Organizace zhodnotí, a pokud soutěžní tým získá alespoň 40% z celkového počtu bodů, bude pozvána do Španělska na závěrečnou událost, kde studenti budou prezentovat, opět v anglickém jazyce, celý projekt před komisí složenou z technických a závodních velikánů nejen ze Španělska. Část MS2 už je čistě technická, patří do ní zátěžové testy, testy hluku a technická přejímka. Dále jízdni zkoušky jako slalom, brždění z určité rychlosti na 0 a podobně. A na závěr všeho očekávaný závod. Po celou dobu, od přihlášení po ukončení závodu, jsou týmy za svou práci hodnoceny a na konci po sečtení všech bodů jsou vyhlášeni vítězové jednotlivých sekcí a celkový vítěz.

3.2 O našem týmu

Náš tým vznikl v roce 2014 při příležitosti přihlášení se do výše popsané soutěže MotoStudent. Tento tým vznikl na projektu Bezpečný motocykl pod vedením pana Ing. Jiřího Firsta na katedře dopravních prostředků K616 při Fakultě dopravní. Jako název byl vybrán CTU Lions. CTU představuje anglickou zkratku ČVUT Czech Technical University a lvi podle znaku ČVUT. Lev je i dominantou našeho loga (viz Obrázek 12). Tým má momentálně 7 členů, každý má na starost jinou část vývoje. Každý z nás má citový vztah k motocyklům a spousta z nás je aktivními motorkáři s vlastními motocykly.



Obrázek 12 - Logo našeho fakultního týmu CTU Lions

3.3 O prototypu

Návrh motocyklu musí být v souladu s pravidly soutěže a zároveň podléhat obecným normám a zásadám bezpečnosti. Jak již bylo mnohokrát zmíněno, motocykl by se měl velmi podobat kategorii Moto3 ať už svými rozměry, tak výkonově. Komponenty, které nám dodala Organizace a musí být použity na prototypu jsou motor z Hondy CBR 250 R, brzdy od španělského výrobce brzdových systémů J.Juan, Marchesini ráfky a Dunlop pneumatiky. Tyto komponenty budou ještě detailněji popsány. Rám a ostatní komponenty jsou předmětem vývoje a výroby. Jako název prototypu bylo vybráno CTU5, CTU je

anglická zkratka Českého Vysokého Učení Technického a 5 je naše závodní číslo v rámci soutěže MotoStudent.



Obrázek 13 - Logo Honda [15]



Obrázek 15 - Logo J.Juan [16]



Obrázek 14 - Logo Marchesini [17]



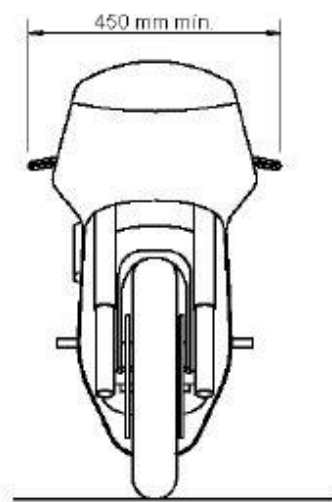
Obrázek 16 - Logo Dunlop [18]

3.4 Technická pravidla a omezení od Organizace

Organizace nám poskytla dokument, který plně definuje celou soutěž a je v ní obsažen i soubor technických omezení, zákazů a doporučení pro stavbu prototypu. Dále jen Pravidla.

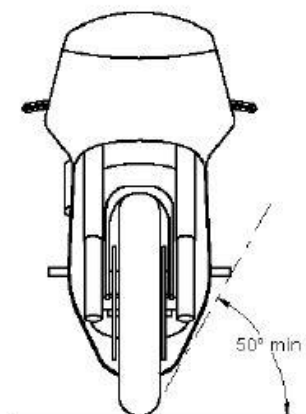
3.4.1 Rozměry

- minimální šířka mezi konci řídítek je 450 mm



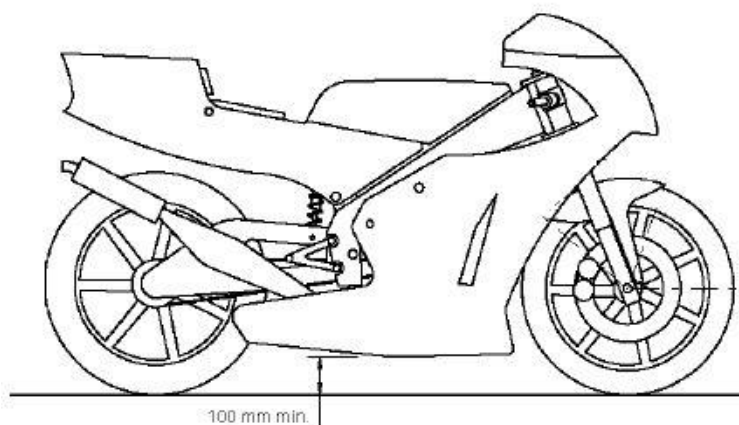
Obrázek 17 - Omezení na řídítku [5]

- úhel mezi motocyklem a povrchem musí být alespoň 50°. Měřeno bez jezdce, ale plně připraveno na jízdu (natankováno, všechny provozní kapaliny,...)



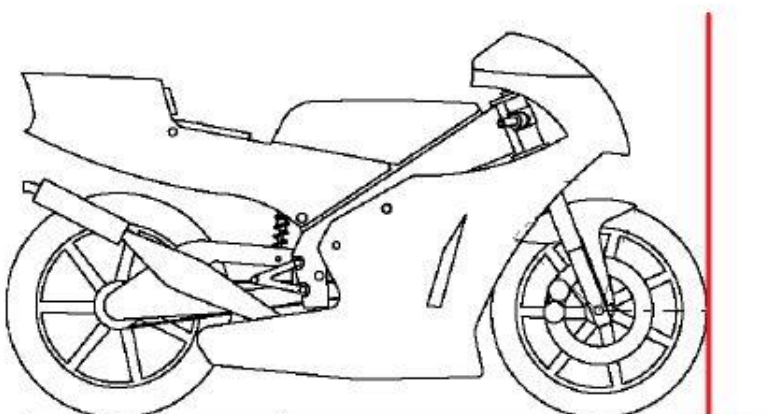
Obrázek 18 - Omezení na úhel mezi kapotáží a vozovkou [5]

- minimální světlá výška musí být alespoň 100 mm při jakémkoliv stlačení nebo nastavení tlumičů



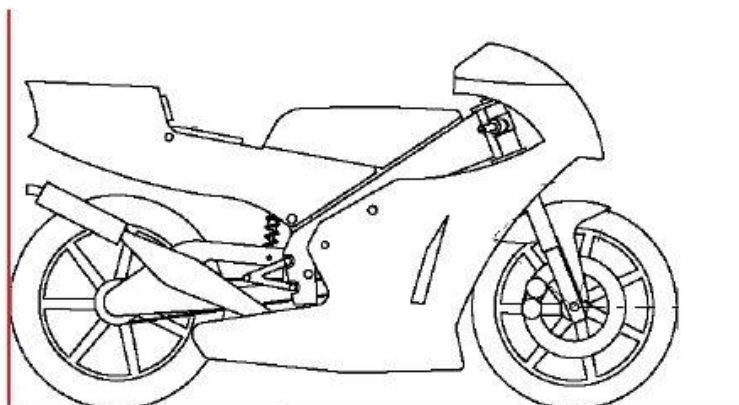
Obrázek 19 - Omezení na světlou výšku [5]

- přes hranu přední pneumatiky nesmí zasahovat žádná komponenta



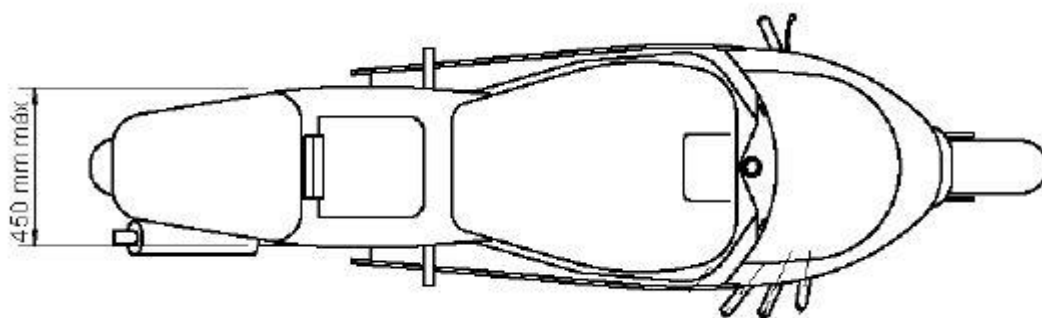
Obrázek 20 - Omezení na hranu přední pneumatiky [5]

- přes hranu zadní pneumatiky nesmí zasahovat žádná komponenta



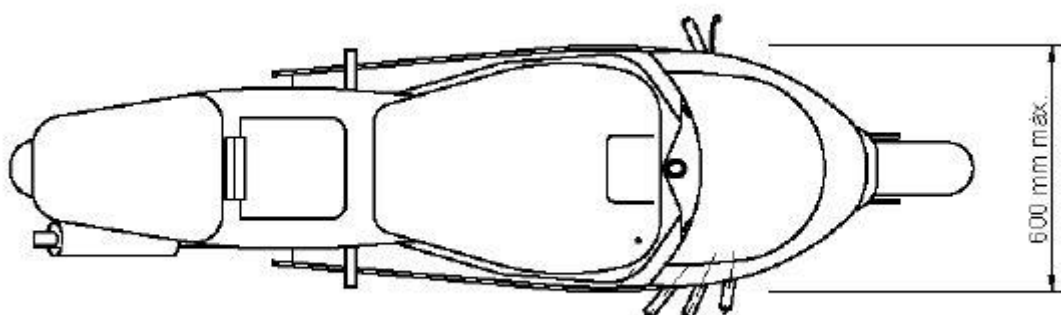
Obrázek 21 - Omezení na hranu zadní pneumatiky [5]

- vzdálenost mezi pneumatikou a jiným elementem musí být minimálně 15 mm při jakémkoliv stlačení nebo nastavení tlumičů
- maximální šířka sedla je 450 mm. Žádná další komponenta nesmí vyčnívat přes tuto šířku od sedla do konce kromě výfuku



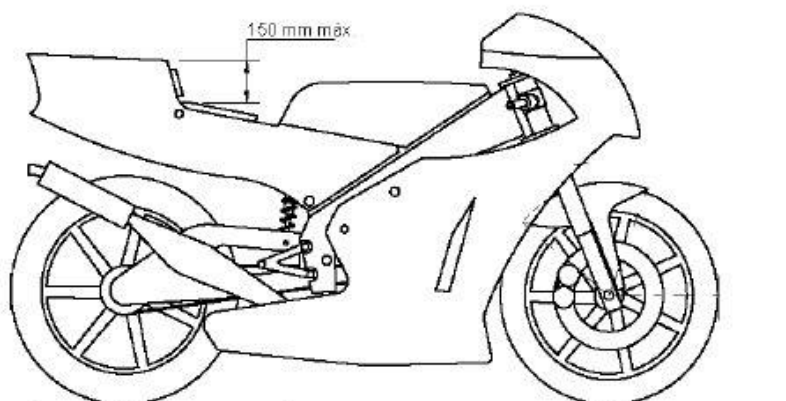
Obrázek 22 - Omezení na šířku sedla [5]

- maximální šířka kapotáže je 600 mm



Obrázek 23 - Omezení na šířku kapotáže [5]

- maximální výškový rozdíl mezi sedlem a nejvyšším bodem zadní části je 150 mm



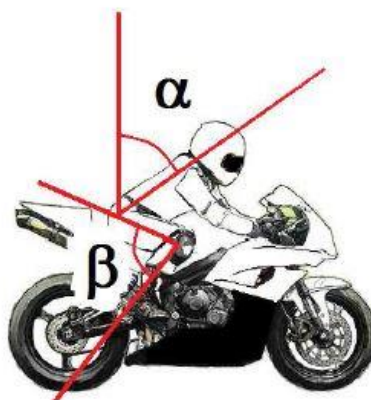
Obrázek 24 - Omezení na výšku sedla [5]

3.4.2 Hmotnost

- celková hmotnost musí být vyšší než 95 kg včetně náplní pro správnou činnost motocyklu a minimálně jednoho litru benzínu v nádrži
- jezdec může být kdykoliv zavolán na převážení motocyklu a je povinen hned uposlechnout
- celková hmotnost nesmí být nižší než minimální po celou dobu soutěže
- použití přídavného závaží je povoleno, ale musí být oznámena při technické přejímce
- mobilní závaží musí být připevněna k šasi tak, aby se v případě rány nebo pádu neoddělila

3.4.3 Ergonomie

- design musí mít ergonomické limity pro jezdce průměrné výšky a hmotnosti
- je povoleno použití nastavitelných prvků řízení ke zlepšení komfortu jezdce
- všechny prvky a symboly promítané na přístrojové desce či display musí být dobře viditelné z normální řidičské pozice
- normální řidičská pozice pro řízení sportovního silničního motocyklu při normální jízdě (ne pro dosažení maximální rychlosti) je popsána těmito úhly



Obrázek 25 - Doporučené úhly ergonomie jezdce [5]

α - úhel mezi kolmicí a zády je doporučen mezi 19° až 40°

β - úhel ohybu kolena je doporučen mezi 65° až 77°

3.4.4 Rám

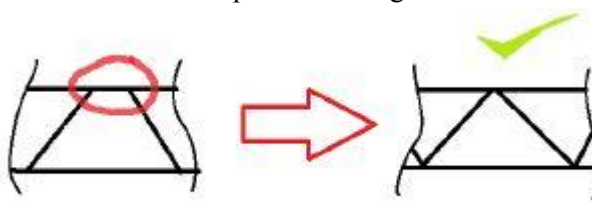
- je zakázáno použití komerčního rámu ani jeho modifikace. Musí být nový, námi vyrobený
- nejsou žádné požadavky na typ konstrukce, ale musí splňovat následující pravidla

3.4.4.1 Materiál

- jako materiál nesmí být použit titan nebo titanové slitiny

3.4.4.2 Svařování a spojení

- svařování jakýmkoliv způsobem je povoleno
- v případě trubkové konstrukce musí mít správnou triangulaci



Obrázek 26 - Ukázka správného svaření trubkové konstrukce [5]

3.4.5 Protektory

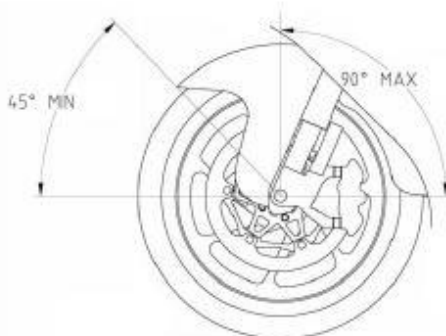
- mohou být použity k ochraně šasi a motoru v případě pádu
- mohou být z nylonu, vlákna nebo jiných materiálů s podobnou tvrdostí
- mohou být instalovány vně i mimo kapotáž

3.4.6 Kapotáž

- všechny ohyby a konce musí být zaobleny s minimálním rádiusem 1 mm
- nesmí zakrývat jezdce z boku, kromě předloktí (tato výjimka pouze při aplikaci snížení aerodynamického odporu jezdce)
- nejsou žádná omezení na výrobu a použitý materiál

3.4.7 Blatníky

- nejsou povinné
- zadní blatník nesmí zakrývat více než 180° z obvodu kola
- přední blatník nesmí pokrývat více než 135° z obvodu kola měřené od zadní části pneumatiky



Obrázek 27 - Omezení na přední blatník [5]

3.4.8 Řízení: řídítka a stupačky

3.4.8.1 Řídítka a jejich ovládací prvky

- řídítka nemohou být z lehkých slitin jako magnézium nebo titan
- podpěry řídítek musí být navrženy tak, aby minimalizovaly možnost zlomeniny v případě pádu
- minimální rádius 2 mm musí být použit mezi částmi řídítek a jejich ukotvení
- plyn se musí sám vracet do nulové pozice
- ruční páka spojky a brzdy nesmí přesáhnout vzdálenost 200 mm mezi bodem otáčení a koncem páky a na konci musí být zaobleny
- je povoleno instalovat ochranu ruční páky proti neočekávané aktivaci (pojistka proti stisknutí)
- tlačítko startéru, pokud je použit, musí být na řídítkách

3.4.8.2 Stupačky a jejich ovládací prvky

- mohou být pevné i sklápěcí. V případě použití sklápěcích se musí vracet do základní polohy po ustání síly na ně působící
- konce stupaček musí být zaobleny minimálním rádiusem 8 mm
- doporučuje se dát na konec stupaček čep z hliníku, plastu, teflonu nebo podobného materiálu
- stupačky musí mít boční ochranu, aby se jezdcova noha nedostala do kontaktu s řetězem nebo kolem

3.4.9 Systém brzdění

- použité kotoučové brzdy na předním i zadním kole
- Organizace dodá:
 - J. Juan radiální přední brzdič ID0007-13 FCRH1
 - J. Juan axiální zadní brzdič ID0006-14 FC1
 - J. Juan přední ruční pumpa ID0003-11 HMC1
 - J. Juan zadní nožní pumpa OT0009-10 FMC1

3.4.9.1 Obsluha brzd

- obsluha přední brzdy musí být obsluhována rukou a umístěna na řídítkách na pravé straně
- obsluha zadní brzdy musí být obsluhována nohou a umístěna na stupačkách na pravé straně

3.4.9.2 Kotouče

- musí být ze slitin oceli. Nesmí být použité karbonové nebo keramické kotouče
- použití kotoučů s vnitřní ventilací je zakázáno

3.4.9.3 Třmeny

- budou dodány organizací a musí být použity
- zadní třmen musí být připevněn ke kyvné vidlici a to s minimální kvalitou šroubů 8.8 podle normy EN ISO 898-1
- držák pro třmen může být ke kyvné vidlici připevněn svařením, přišroubováním nebo může být použit helicoil
- může být použit zadní plovoucí třmen, který je fixován alespoň jedním bodem ke kyvné vidlici

- čepy na předních i zadních destičkách mohou být vyměněny. Systémy rychlé výměny jsou povoleny
- není povoleno žádné dodatečné chlazení třmenů
- je povoleno přidat nebo měnit plíšky mezi destičkami a třmeny nebo měnit písty třmenů
- jakékoliv úpravy těla třmenů dodané organizací je zakázáno, a proto týmy musí přizpůsobit kotviště pro správnou instalaci

3.4.9.4 Brzdové pumpy

- budou dodány organizací a musí být použity
- brzdové hadičky a příslušenství pump může být vylepšeno nebo vyměněno
- páka přední brzdy nesmí být vylepšena nebo vyměněna

3.4.9.5 Brzdové hadičky

- vedení pro přední brzdy musí být nad spodní deskou řízení
- mohou být použité rychlokonektory

3.4.9.6 ABS systém

- není povolen

3.4.10 Tlumiče

- všechny aktivní, semi-aktivní či elektronicky nastavitelné tlumiče jsou zakázány
- nastavování tlumičů a řízení může být provedeno jenom manuálně ať už mechanicky nebo hydraulicky
- Organizace může shledat systém tlumení jako nebezpečný a nepustit motocykl na žádný test na trati

3.4.10.1 Přední tlumiče

- přední tlumicí systém jakéhokoliv druhu je povolen
- přední tlumiče nesmí mít přídavnou nádobu
- tlakové přední tlumiče (vzduchové) nesmí být použity
- při použití odpružené přední vidlice je povoleno pouze nastavování předpětí pružiny. Vidlice s jinými možnostmi nastavení nejsou povoleny

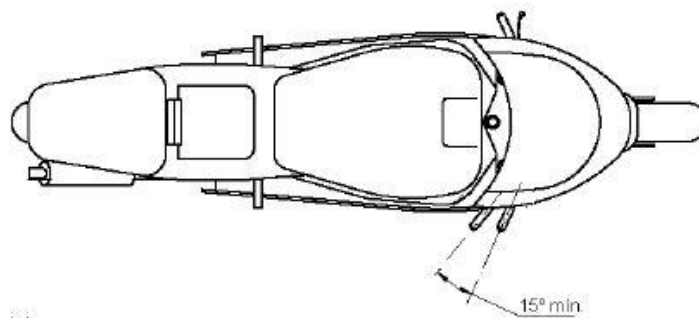
3.4.10.2 Zadní tlumiče

- musí být konvenčního typu, bez externí nebo přídavné nádoby
- tlakové zadní tlumiče (vzduchové/plynové) nesmí být použity

3.4.11 Systémy řízení

3.4.11.1 Omezení a geometrie

- minimální úhel natočení řídítek respektive kola od podélné osy motocyklu je 15°



Obrázek 28 - Minimální úhel natočení řídítek [5]

- úhel natočení musí být limitován dorazy. Ty by měly být z hliníku, nylonu nebo z materiálu s podobnou tvrdostí. Kapotáž nebo jiné části motocyklu nemohou představovat tyto dorazy
- v okolí 30 mm okolo řídítek a ovládacích prvků na nich nesmí překážet žádný prvek motocyklu po celém zdvihu tlumičů. Cílem je zabránění poškození rukou nebo prstů jezdce při nehodě

3.4.11.2 Tlumiče řízení

- instalace tlumiče řízení je povoleno
- jeho nastavení může být provedeno pouze manuálně a to mechanicky nebo hydraulicky
- nesmí fungovat jako omezovač úhlu natočení

3.4.12 Ráfky a pneumatiky

3.4.12.1 Ráfky

- Organizace dodá set ráfků Marchesini M10RS KOMPE Moto3 s rozměry:
 - přední 2,5" x 17"
 - zadní 3,5" x 17"
- týmy jsou povinni je použít
- použití nylonových protektorů na koncích hřídelí kol je povoleno. Tyto protektory musí být kulaté s průměrem rovným nebo větším než hřídel kola
- konce hřídelí kol nesmí vyčnívat více než 30mm od svého uložení (měřeno bez protektorů)
- obrábění nebo jiné přizpůsobování ráfků je zakázáno, i uložení pro hřídel. Jediná povolená modifikace je přebarvení

3.4.12.2 Pneumatiky

- mohou být použity pouze pneumatiky od oficiálního dodavatele pneumatik pro závodní rok Organizace. Každý tým obdrží set suchých slicků
 - přední pneumatika Dunlop KR149 M s rozměry 95/70 R17
 - zadní pneumatika Dunlop KR133 C s rozměry 115/70 R17
- pokud bude tým chtít mít více pneumatik, ať na sucho či mokro, budou si je moci pořídit přes Organizaci
- nákup pneumatik při soutěži je omezen na jednu sadu
- používání nahříváků pneumatik je povoleno

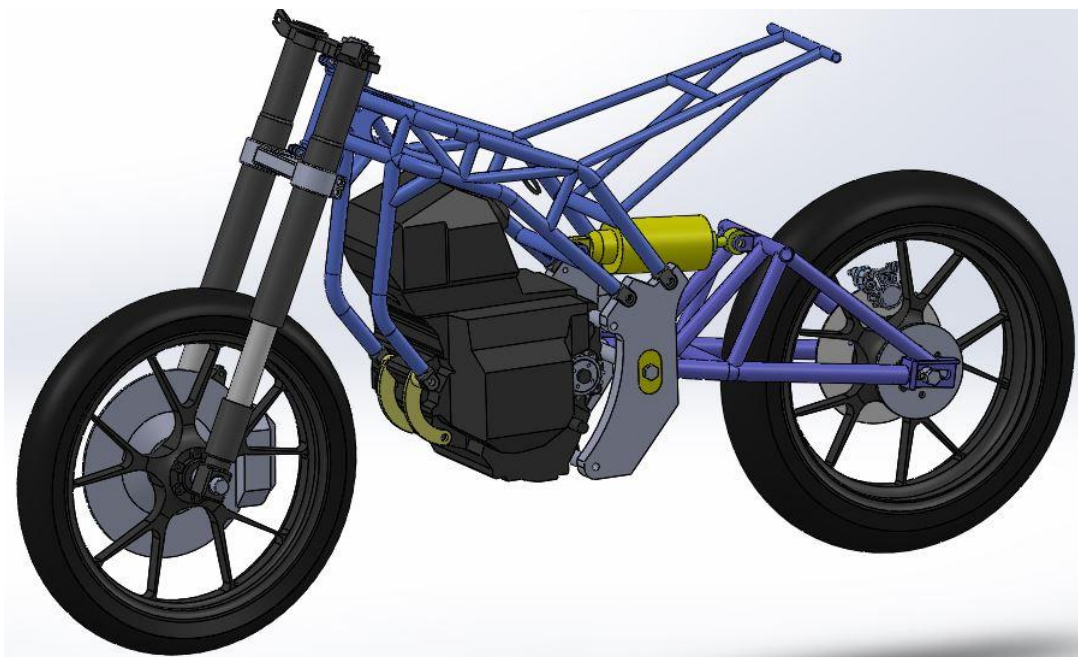
4 Návrh podvozku pro prototyp CTU5

V následujícím segmentu představím jednotlivé části a díly našeho prototypu a pokusím se odůvodnit vybrané řešení. Nejedná se pouze o návrh rámu, ale celého šasi neboli podvozku. Celý model byl navržen v programu SolidWorks 2015. Obrázky zde uvedené pochází přímo z programu SolidWorks stejně jako příložená výkresová dokumentace. Podvozek byl téměř celý navrhován empiricky a jednotlivé návrhy byly po konzultaci s odbornými poradci upravovány. Pevnostní výpočty, statické a dynamické simulace měli na starosti další členové týmu. Na závěr práce uvedu výsledek statické simulace.

Základní specifikace našeho prototypu:

Sklon přední vidlice:	23°
Stopa předního kola:	68,67 mm
Rozvor:	1240 mm
Celková délka:	1828,5 mm
Hmotnost:	≈ 110 kg
Přední tlumiče:	inverzní vidlice z Aprilia RS 125, Ø 40 mm
Zadní tlumič:	Öhlins KA 037
Přední brzdový kotouč:	Goldfren Ø 296 mm
Zadní brzdový kotouč:	Ø 220 mm

Základní rozměry podvozku jsou v příloze číslo výkresu CTU5-06-001.



Obrázek 29 - Model celého podvozku našeho prototypu CTU5

4.1 Přední vidlice

4.1.1 Přední pneumatika a ráfek

Přední kolo bylo dodáno Organizací a musí být použito na prototypu. Je to přední ráfek Marchesini M10RS kompe Moto3 2,5“ x 17“ se slickovou pneumatikou Dunlop KR149 M 95/70 R17. Každý tým si může pořídit další pneumatiky („suché“ i „mokré“) přes Organizaci.



Obrázek 30 - Model předního kola

4.1.2 Přední tlumiče

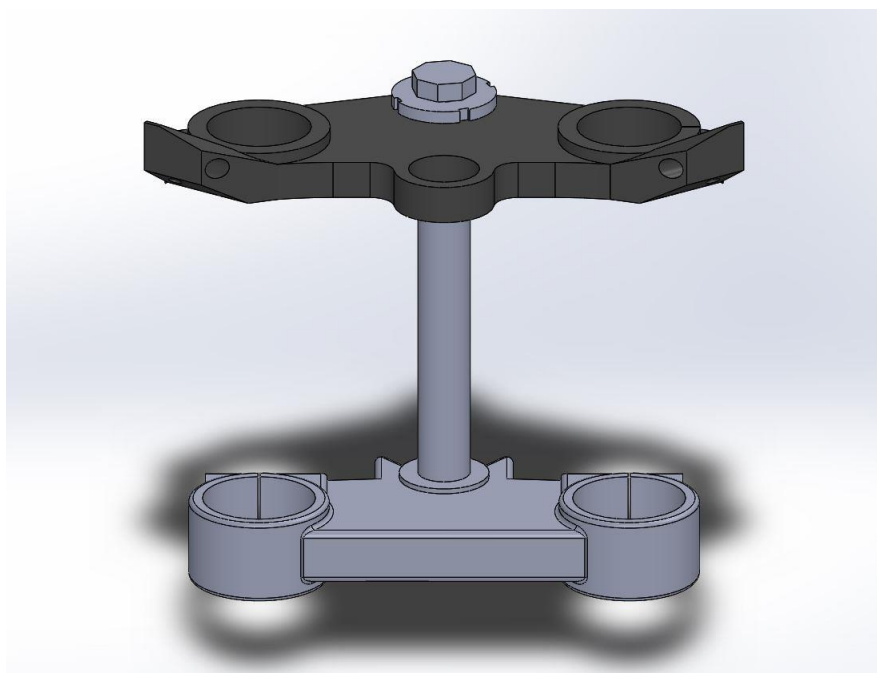
Přední tlumiče jsou jedna z nejdůležitějších částí podvozku. Bohužel, jsme byli limitováni penězi a nemohli si dovolit nové tlumiče, tak jsme museli improvizovat. Cena nových tlumičů používaných v kategorii Moto3 se pohybuje okolo 40 000 Kč a výše. Použití „obyčejných“ konvenčních tlumičů nám nepřišlo jako dobré řešení, daleko lepší jsou inverzní tzv. „upside-down“ tlumiče, které jsou tužší a mají lepší reakce. Nevýhodou oproti konvenčním je vyšší hmotnost a větší průměry trubek. V rozhodování nám pomohl i průzkum co se používá přímo v závodních motocyklech kategorie Moto3, kde se využívají inverzní tlumiče s pístem o průměru 38 mm, obvykle zdvihem 100 mm a mnoha nastaveními jako předpětí, odskok a komprese. Podle pravidel smíme mít přední tlumiče pouze s možností nastavení předpětí pružiny. Po vytvoření seznamu potenciálních komerčních tlumičů, které vyhovovaly našim požadavkům, jsme zvolili tlumiče z Aprilie RS 125. Byl zakoupen celý motocykl Aprilia RS 125 r.v. 1999 (dále jen Aprilia) s poškozeným motorem za 10 000 Kč. Z tohoto motocyklu použijeme nejenom přední tlumiče, ale spoustu dalších dílů jako držák předních vidlic, krk řízení, řídítka, lanka, kabeláž a mnoho dalšího. Aprilia má upside-down tlumiče s průměrem pístu 40 mm, zdvihem 120 mm a možností seřízení předpětí pružiny. Bohužel se nám nepovedlo sehnat detailnější specifikace těchto tlumičů, ani český distributor Aprilie nám neuměl pomoci.



Obrázek 31 - Model předních vidlic z Aprilie RS 125

4.1.3 Uchycení předního odpružení

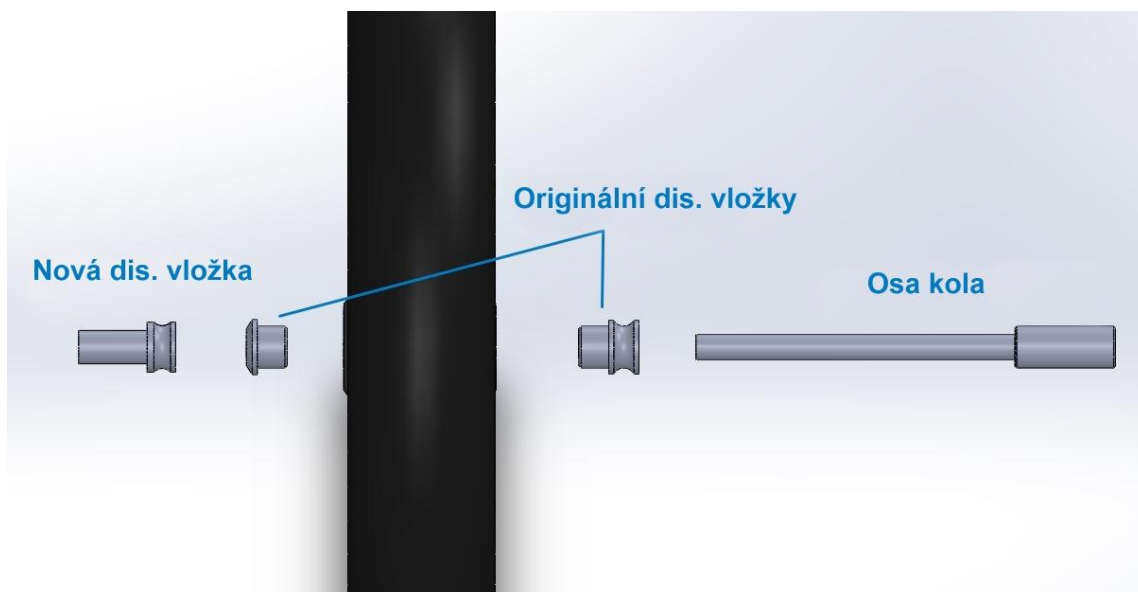
Když už jsme měli Aprilii v dílně, rozhodli jsme se použít více dílů, hlavně pro přední vidlici, tudíž tzv. brýle byly další převzatou komponentou. Jsou přímo dělané na námi použité tlumiče, takže s nimi nebyl problém. Taktéž jsme použili krk řízení a ložiska, ale toto je popsáno v části 4.1.6 Hlava řízení. K této části se montují řídítka, ty pravděpodobně také použijeme z Aprilie, ale v tuto chvíli ještě není rozhodnuto.



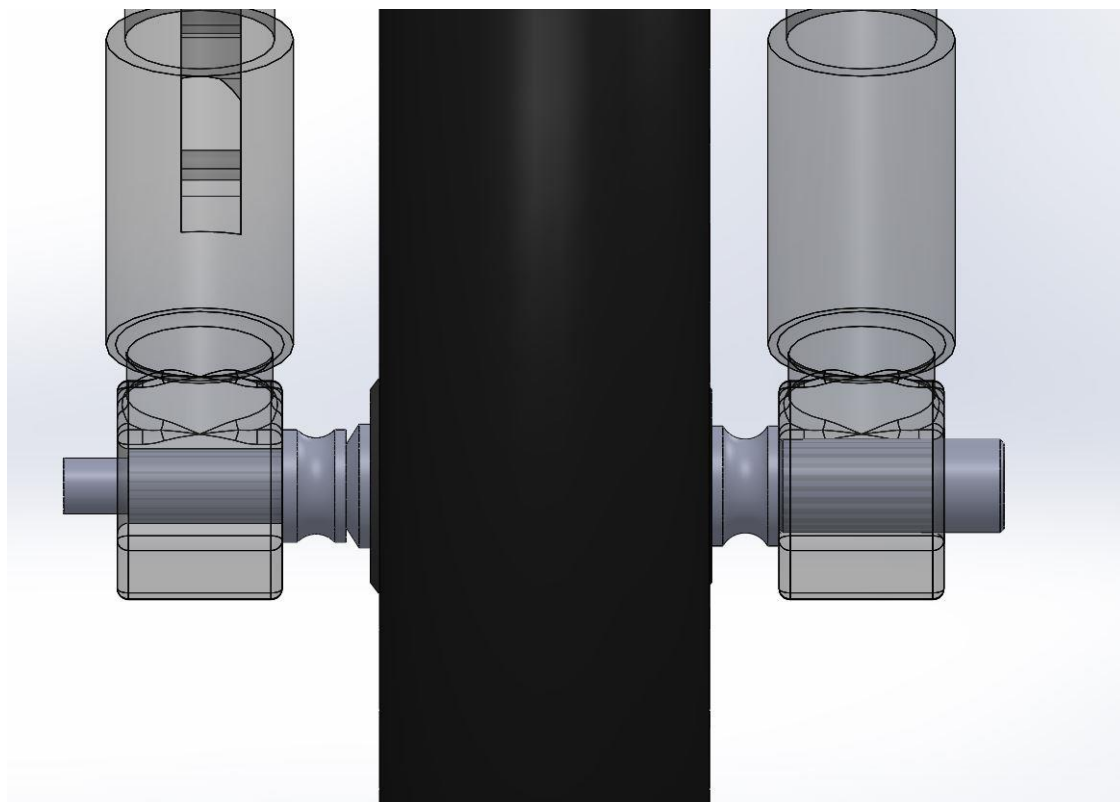
Obrázek 32 - Model držáku přední vidlice tzv. „brýlí“

4.1.4 Uložení předního kola

Uložení předního kola je složeno ze tří různých distančních vložek a osy kola. Distanční vložky, které jsou nejbližší ráfku, jsou originální vložky dodané s ráfkem a třetí je námi vyrobená tak, aby kolo správně sedělo mezi tlumiči. Jelikož nám seděl průměr vnitřku ráfku s průměrem osy (\varnothing 15 mm) je osa kola další díl použitý z Aprilie.



Obrázek 33 – Model a popis uložení předního kola



Obrázek 34 - Model uložení předního kola

4.1.5 Přední brzda

Třmen přední brzdy je 2-pístový J.Juan ID00007-12-FCRH1, který nám dodala Organizace spolu s brzdovým obložením, brzdovými hadičkami a přední pumpou s páčkou. Tyto komponenty, až na obložení a hadičky, protože se jedná o spotřební zboží, musí být použity na prototypu. Přední vidlice z Aprilie nemá moderní držák pro brzdový třmen (viz. Obrázek 35), ale vlastní systém uchycení třmenu, který mají taktéž vlastní výroby. Pravá vidlice má držák se dvěma otvory s M8 závity v jedné řadě, ke kterému je šrouby přimontován třmen (viz Obrázek 36). Protože třmen od J.Juan je dělán pro moderní uchycení, museli jsme navrhnout mezikus (Č. výkresu CTU5-02-007). Brzdové destičky musí zabírat na co největší ploše brzdového kotouče, proto je design tohoto mezikusu závislý na velikosti a poloze (mezi ráfkem a vidlicí) brzdového disku. Náš kotouč pochází z Hondy VFR 750 F r.v. 1994 – 97, má vnější průměr 296 mm, vnitřní 58 mm, 6x6 mm děr s roztečí 75 mm a tloušťku 5 mm. Nejprve jsme vyrobili distanční kroužek mezi ráfkem a brzdovým diskem o tloušťce 6,5 mm. Poté jsme nechali vyříznout tvar mezikusu z hliníkového bloku (materiál 3.3547 nebo jiné značení EN-AW 5083 o tloušťce 25 mm) vodním paprskem a následně se nechal mezikus dodělat na fréze. Brzdové obložení je použito to, které jsme dostali od Organizace, ale v případě opotřebení si můžeme pořídit jiné kdekoliv. Pumpa přední brzdy s páčkou je umístěna, jak je u motocyklů zvykem, na pravém řídlítku. Brzdové hadičky, které nám dodala Organizace, jsou pro náš prototyp krátké, ale máme ještě možnost nechat si upravit přední vidlici a snížit její zdvih ze 120 mm na 100 mm a to by znamenalo, že by nám délka hadičky měla stačit. Nicméně koupit nové je levná záležitost.



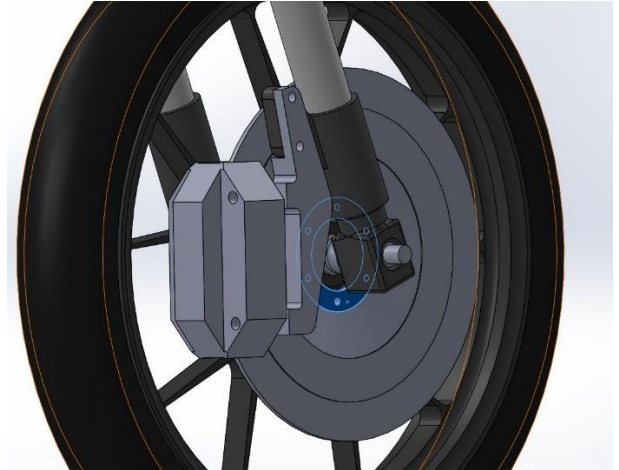
Obrázek 35 - Příklad moderního držáku předního třmenu [19]



Obrázek 36 - Sestava přední brzdy u Aprilie



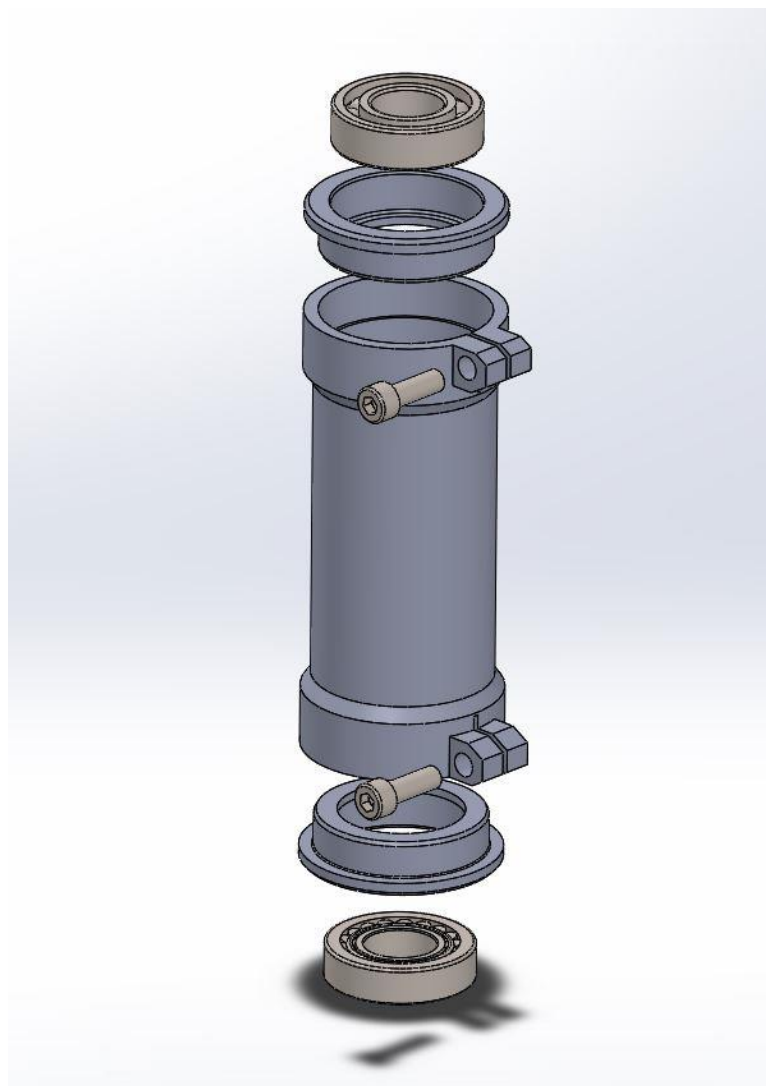
Obrázek 37 - Výsledek na našem prototypu



Obrázek 38 - Model sestavy přední brzdy

4.1.6 Hlava řízení

Hlava řízení byla první součást, kterou jsem navrhl a následně jsme ji vyrobili. Její design byl zprvu odlišný, ale v průběhu výroby se upravovala a vznikl jednoduchý a funkční design. Celá hlava řízení je složena z hlavy samotné, dvou centrických vložek a dvou odlišných ložisek. Hlava řízení byla vyrobena na „brýle“ s krkem řízení z Aprilie, tudíž i ložiska jsme mohli použít. Spodní je jednořadé kuželíkové válečkové ložisko KLF-ZVL EB 30205A (spodní ložisko v hlavě řízení se vždy dává kuželíkové, protože tyto ložiska zvládají velké jak axiální, tak radiální namáhání, které je vyvoláno nerovnostmi terénu) a horní je KLF-ZVL 6205 DOYF, což je obyčejné jednořadé kuličkové ložisko. Vložky jsou zajištěny dvěma M8x25 mm imbusovými šrouby. Na počátku projektu jsme chtěli vytvořit systém změny sklonu přední vidlice, který by spočíval ve vložkách s excentrickými otvory pro ložiska a s naklápěcími soudečkovými ložisky. Natáčením vložek o 180° by se měnil sklon přední vidlice o $\pm 1,5^\circ$, ale náš záměr ztroskotal právě na ložiscích. Ložiska, která by se dala použít, jsou FAG 502365, ale tyto ložiska jsou velmi špatně k dostání i ve světě a za velkou pořizovací cenu, takže bylo od tohoto záměru prozatím upuštěno. Celá konstrukce řízení je však adaptabilní k použití tohoto systému. Materiálem, z kterého je hlava řízení vyrobena, je ocel ISO 11 353 a vložky jsou ze slitiny hliníku (duralu). (Č. výkresu CTU5-01-001: Hlava řízení; CTU-01-002: Vložka)

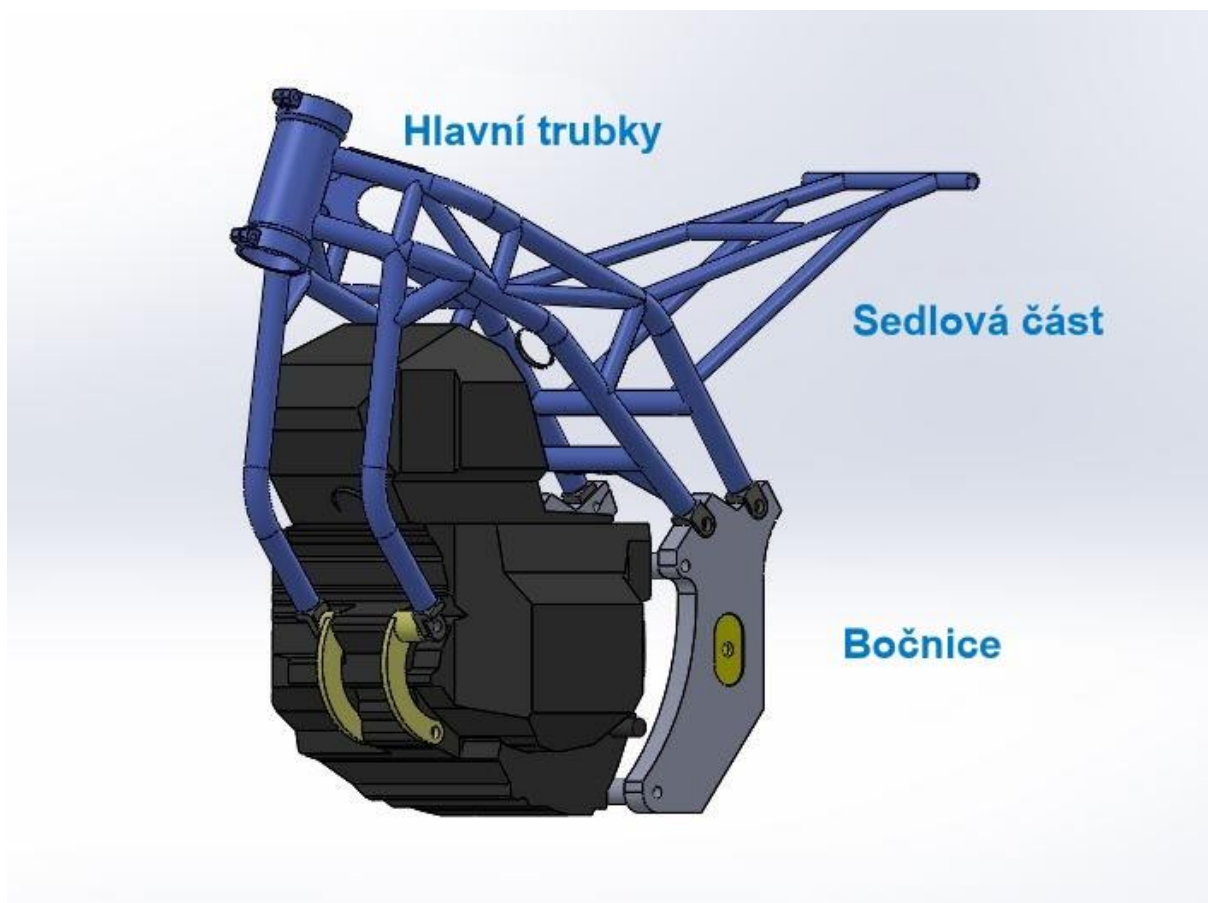


Obrázek 39 - Model hlavy řízení se všemi komponenty

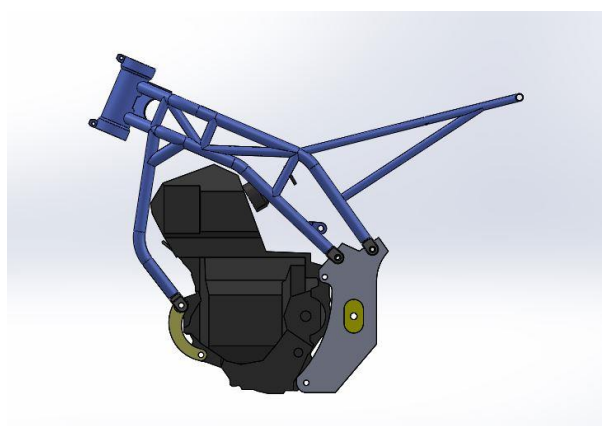
4.2 Rám

První velmi důležité rozhodnutí bylo, který typ rámu použijeme. Kritéria pro výběr byla tyto: jednoduchá výroba, nízká cena, možnost naučit se novým věcem a účelnost. Jako první jsme mluvili s lidmi, kteří mají letité zkušenosti s litými hliníkovými rámy, ale výsledek byl nepříznivý. Lité rámy jsou drahé, nemůžeme si je vyrobit sami, protože je potřeba speciálních strojů a techniky, ale zato mají výborné vlastnosti. Navíc bychom se z toho ani nic nenaučili, protože by nám rám vyrobil někdo jiný. Vhodnější možností byl otevřený příhradový rám z trubek, podobný tomu co má KTM nebo Husqvarna, který používají na svých motocyklech pro Moto3. Vzorem byly motocykly Megelli 125 R a FGR 125 GP, který také soutěžil v kategorii Moto3. Následně jsme požádali společnost JAWA Moto o pomoc a rady. JAWA dělá rámy většiny svých motocyklů ze svařených trubek nebo profilů, takže mají mnoho zkušeností s tímto typem rámu. Jejich rady byly velmi nápomocné a dokonce nám prodali vlastní trubky, z kterých jsme zhotovili náš prototyp.

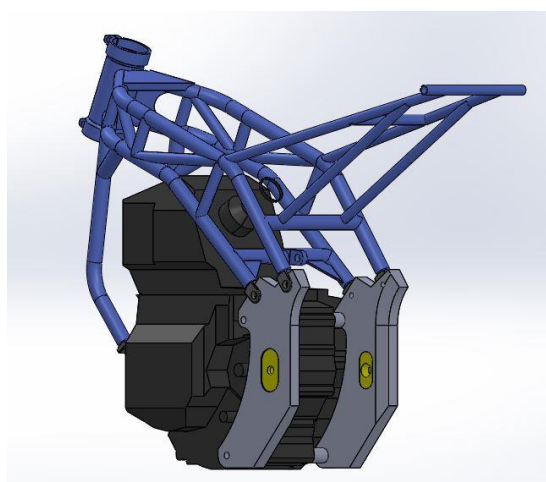
Rám prototypu CTU5 má tři hlavní části: bočnice, hlavní trubky a sedlovou část. Prvním záměrem bylo udělat tyto tři části odnímatelné, ale při výrobě jsme od tohoto záměru upustili. Sedlová část je přivařená k hlavním trubkám napevno. Udělat sedlovou část odnímatelnou by nás stálo další úsilí a čas. Dokonce i nějaké nežádoucí gramy do celkové hmotnosti, kvůli systému spojení, ale přitom by možnost odnámání sedlové části nepřinesla žádné výhody.



Obrázek 40 - Model celého rámu, pohled 1



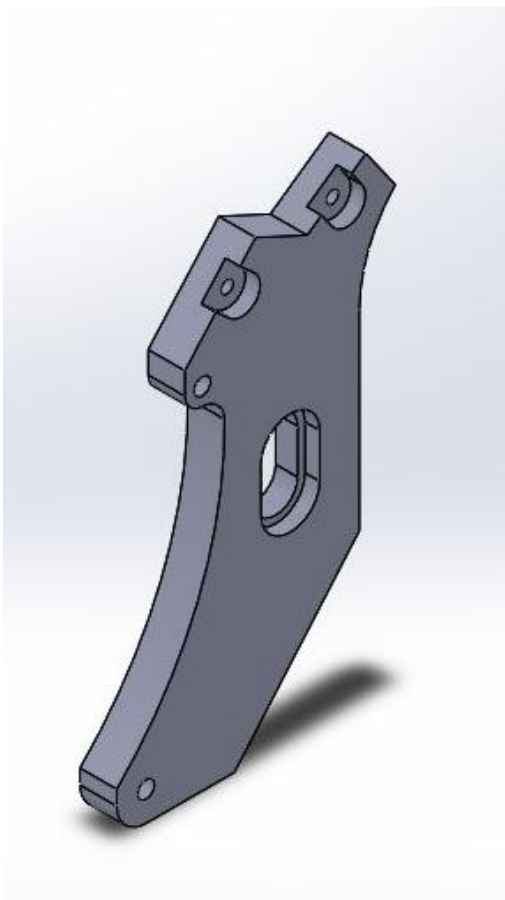
Obrázek 41 - Model celého rámu, pohled 2



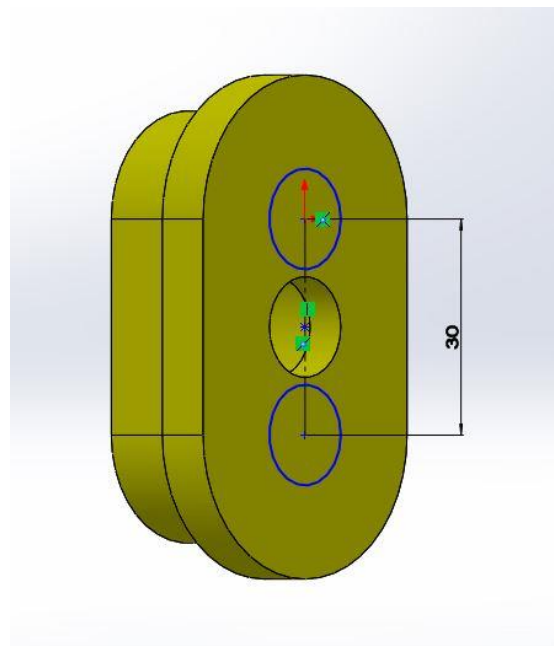
Obrázek 42 - Model celého rámu, pohled 3

4.2.1 Bočnice

Hlavním stavebním prvkem rámu našeho prototypu jsou bočnice (Č. výkresu CTU5-03-002). Jejich tvar byl vyříznut stejně jako držák předního brzdového třmenu z hliníkového bloku (materiál 3.3547 nebo jiné značení EN-AW 5083 o tloušťce 25 mm) vodním paprskem a pak následovalo frézování a vrtání děr. Levý i pravý kus je stejný, pouze zrcadlově otočený. Mezi bočnicemi a motorem jsou 4 různě dlouhé rozpěrné vložky s otvorem o průměru $\varnothing 12$ mm. Skrz bočnice, rozpěrky a motor jsou vedené dvě osy, kterými se motor upevňuje do rámu. Osy jsou zakončeny závitem a zajištěny matkami s podložkami. Uprostřed bočnice jsou oválné otvory pro vložky. Tyto vložky jsou zde pro vertikální nastavení výšky uložení kyvné vidlice až o 30 mm (Č. Výkresu CTU5-03-003). Podobné řešení používá například tovární značka Aprilia u svých moderních motocyklů jako například model RSV4. Bočnice mají speciální vybrání pro přišroubování montážních dílků, které jsou přivařené na konec trubek hlavní části rámu. Hlavní trubky jsou tedy zajištěny k bočnicím čtyřmi imbusovými šrouby M8x30 mm skrz montážní dílky a bočnici. Z vnitřní strany bočnic jsou zajištěny nylonovou matkou. V bočnicích budou ještě uchycené stupačky, ale ty v modelu prozatím nejsou, protože jsme rozhodli, že je připevníme, až bude zbytek rámu zhotoven a stupačky se připevní přesně podle potřeby. Pokud bude náš prototyp vážit více než 95 kg jak nám Pravidla nařizují, necháme bočnice „vylehčit“ tím, že se vybere z vnitřní strany materiál, aniž by se snížila pevnost a tuhost bočnic.



Obrázek 43 - Model levé bočnice



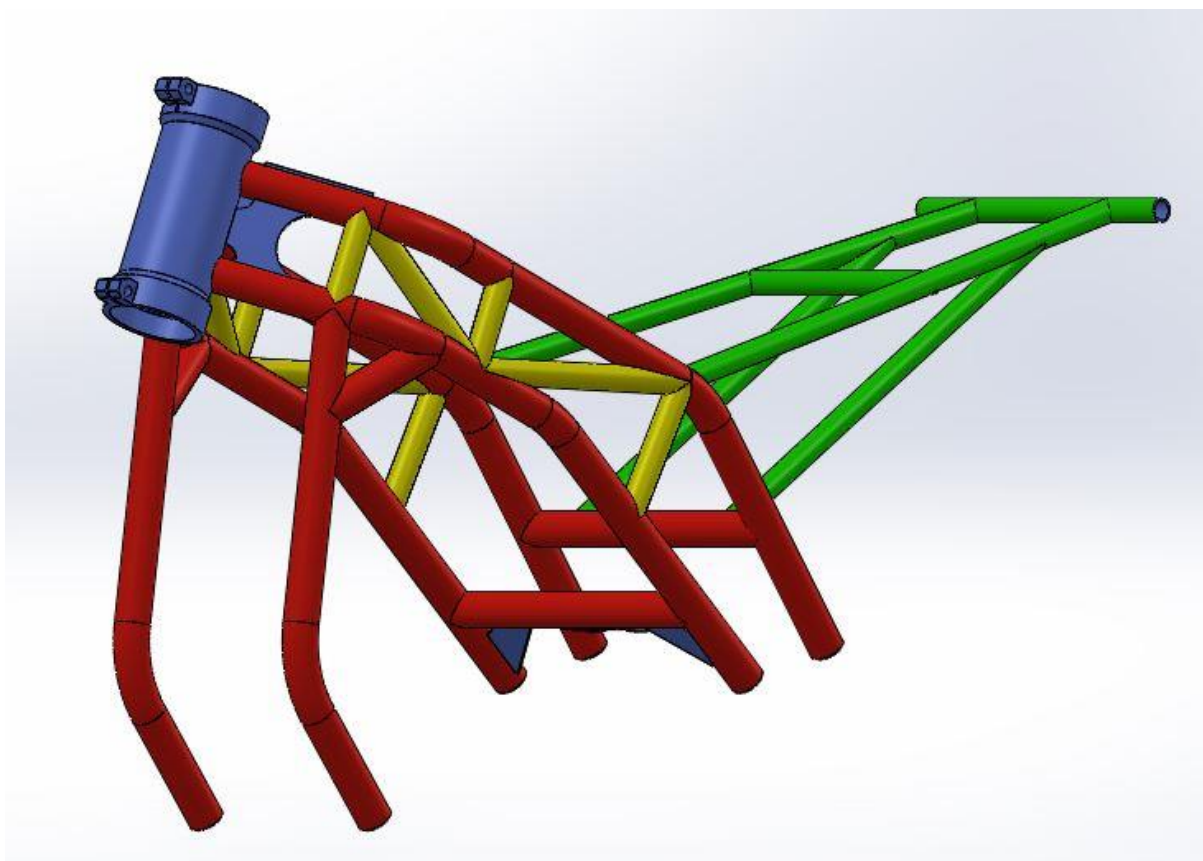
Obrázek 44 - Model vložky pro nastavení výšky kyvné vidlice

4.2.2 Hlavní trubky

V počátcích jsme chtěli použít chrom-molybdenové trubky, ale konstruktéři z Jawy nám to rozmluvili. Chrom-molybdenové trubky se musí po svaření popouštět a žíhat, což jsme nebyli schopni u nás v dílně udělat. Rozhodli jsme použít ISO 11 523 a 11 373 ocelové trubky, protože mají téměř stejnou hmotnost na metr jako trubky chrom-molybdenové, téměř totožné pevnostní charakteristiky a jsou více „přátelské“. Tím je myšleno, že materiál je více poddajný, odpouští chyby při svařování a lépe se ohýbá. Jako dalším důvodem tohoto výběru byl i fakt, že nám JAWA nabídla prodej těchto trubek z vlastních zásob.

Rám včetně sedlové části je tvořen ze tří různých rozměrů trubek. První číslo označuje vnější průměr trubky, druhé číslo je tloušťka stěny a barva odpovídá Obrázku 45.

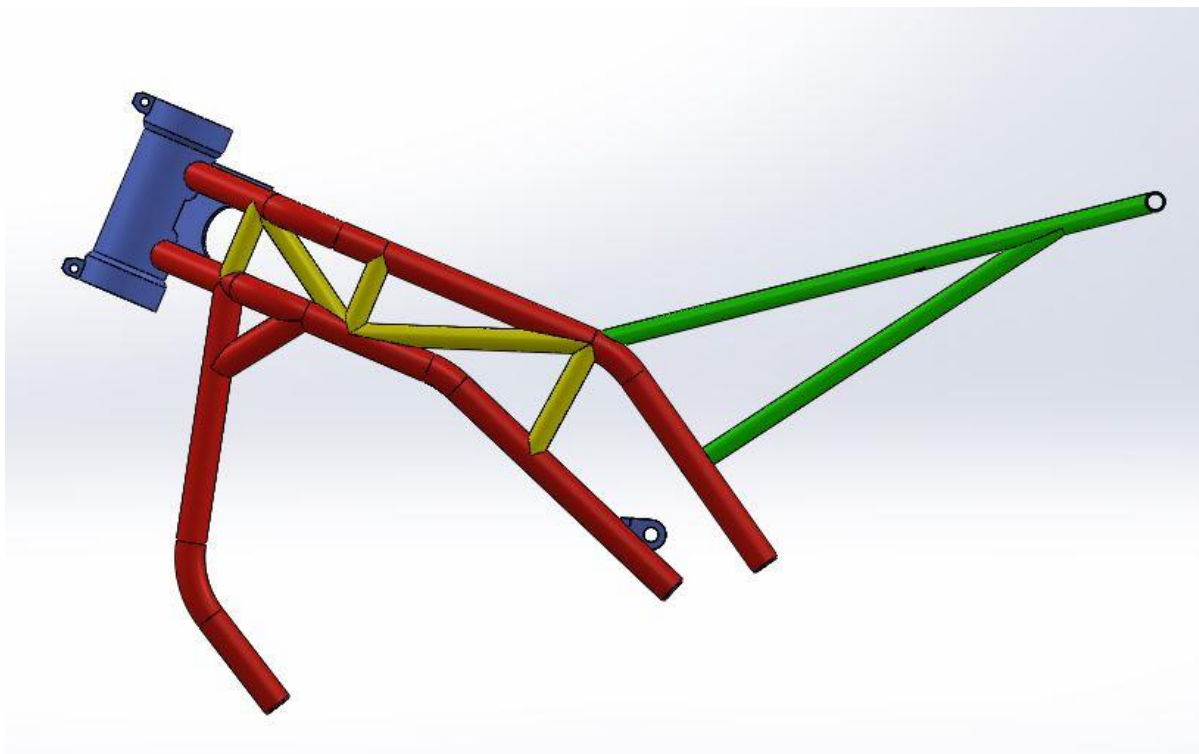
- Ø 24 x 2 mm
- Ø 18 x 1,5 mm
- Ø 16 x 1,5 mm



Obrázek 45 - Model příhradového rámu s barevným označením rozměrů trubek

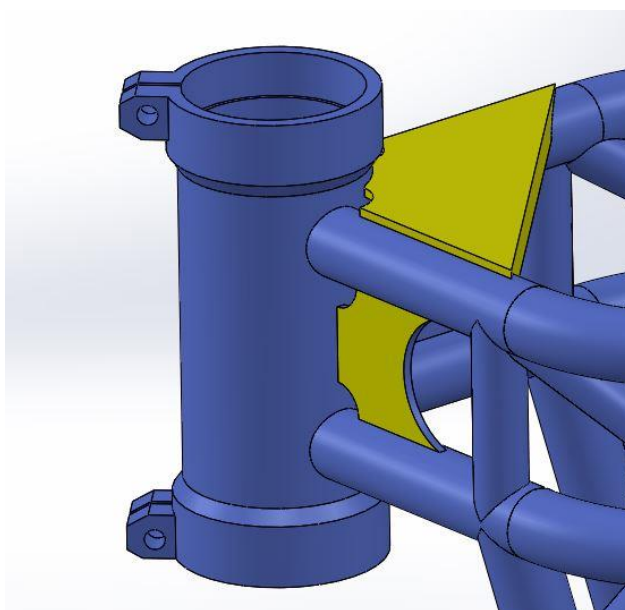
Náš prototyp má typický otevřený příhradový rám v kombinaci s hliníkovými bočnicemi, s dvěma hlavními trubkami na každé straně jdoucí od hlavy řízení k bočnicím a mezi nimi jsou výztužné příčky.

Další dvě trubky pak jdou k přední části motoru. Sedlová část je přivařená přímo k rámu a její sklon je 14° od roviny. Příklad výrobního výkresu pro ohyb trubky je ve výkresu číslo CTU5-04-001.



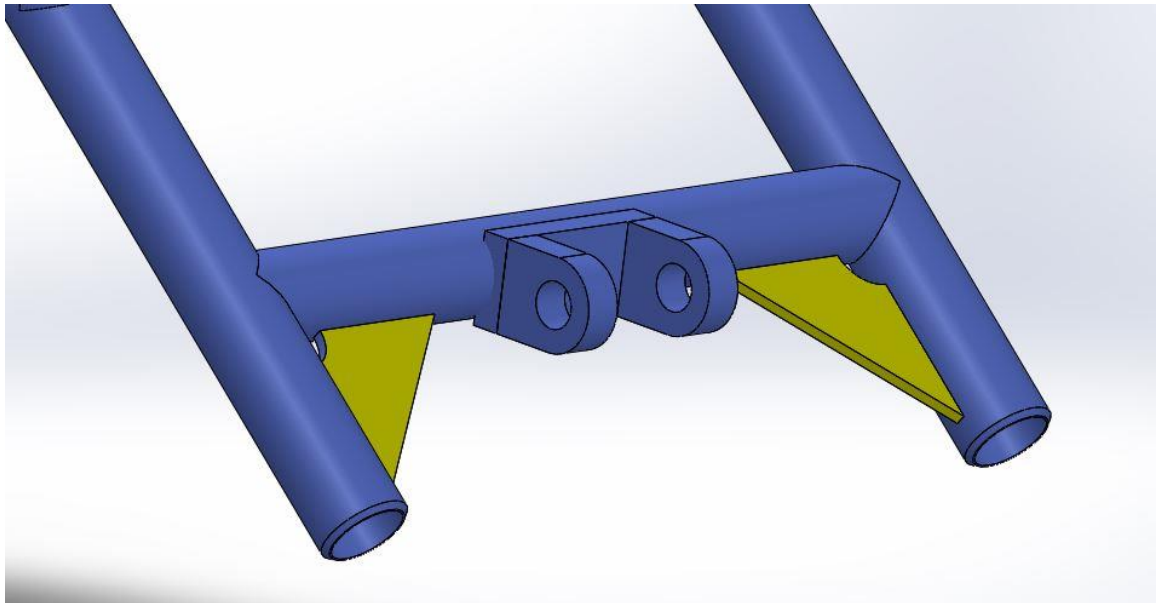
Obrázek 46 - Model rámu z levé strany

Na některých místech jako v blízkosti hlavy řízení nebo uchycení zadní tlumící jednotky k rámu jsou výztužné ocelové plátky o tloušťce 3 mm. Tyto místa jsou nejvíce namáhány a je proto potřeba je vyztužit. Je možné, že se výztužné prvky budou do rámu ještě přidávat, kvůli vylepšení jeho funkce, ale to zjistíme až při dokončování, testovacích jízdách anebo z výsledku simulace.



Obrázek 47 - Model výztužných plátek v blízkosti hlavy řízení

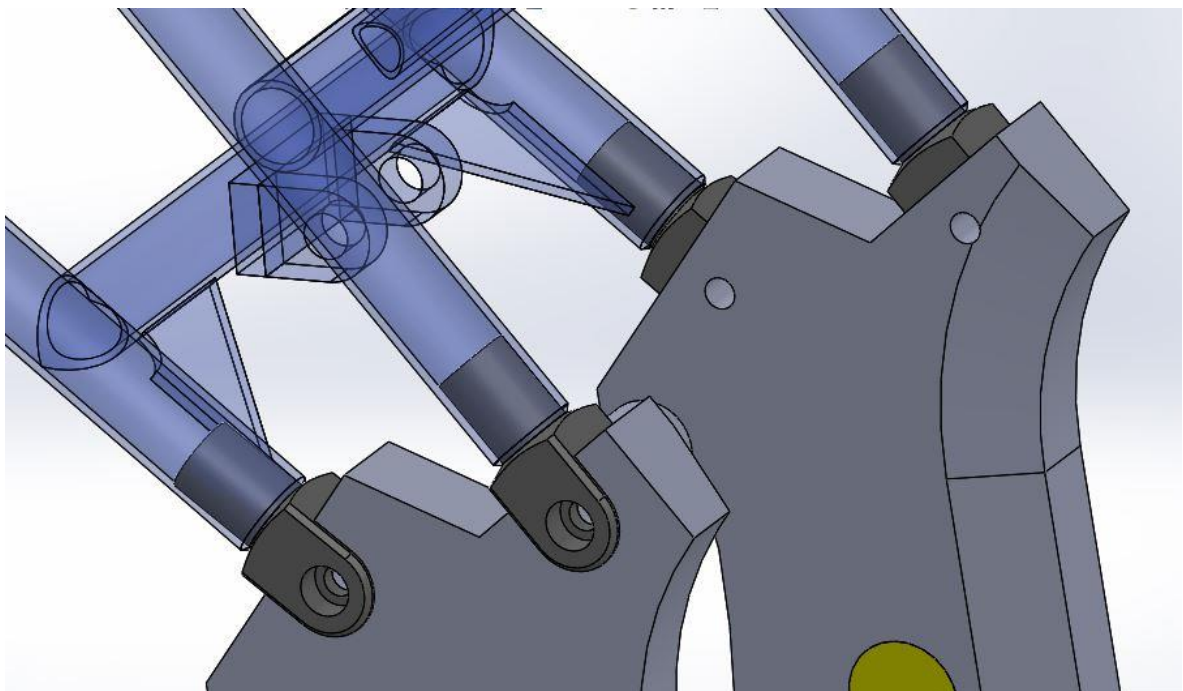
Na Obrázku 48 jsou vidět výztužné plátky a uchycení zadního tlumiče (Č. výkresu CTU5-04-011). Držák je přivařen na příčnou trubku mezi dvěma spodními hlavními trubkami. Tato příčná trubka je vzdálená 70 mm od konce trubek. Držák zadního tlumiče a výztužné plátky jsou z oceli ISO 11 353.



Obrázek 48 - Model držáku zadního tlumiče a výztužné plátky

4.2.3 Spojení mezi bočnicemi a hlavními trubkami

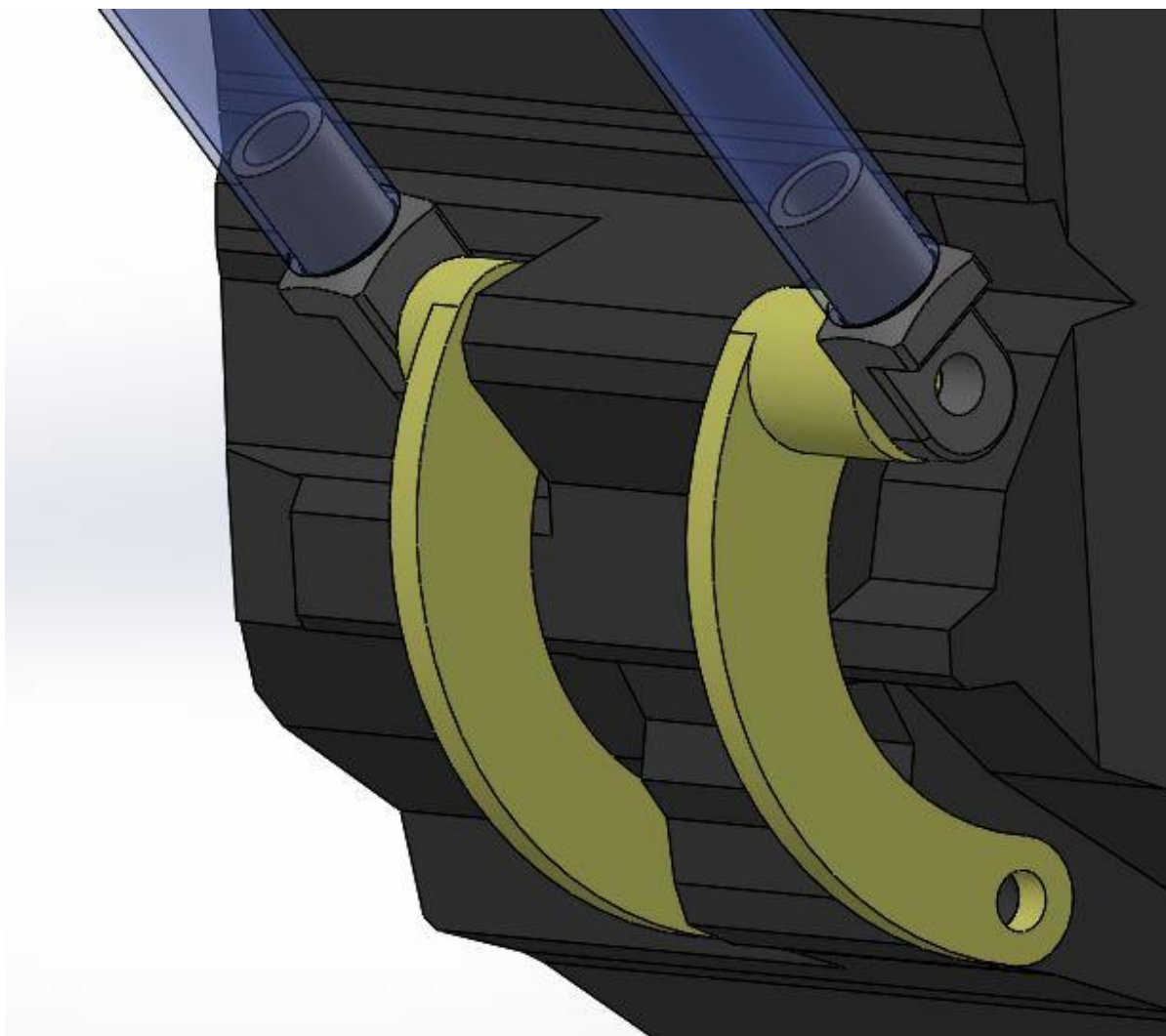
Spojení je provedeno pomocí čtyř montážních dílů, které jsou zavařené do konců hlavních trubek. Přes tyto díly jsou přišroubované k bočnicím. Materiál těchto dílů je ocel ISO 11 353 a jejich výroba probíhala na základě výkresu číslo CTU5-03-006.



Obrázek 49- Model spojení bočnic s hlavními trubky

4.2.4 Přední držáky motoru a jejich spojení k hlavním trubkám

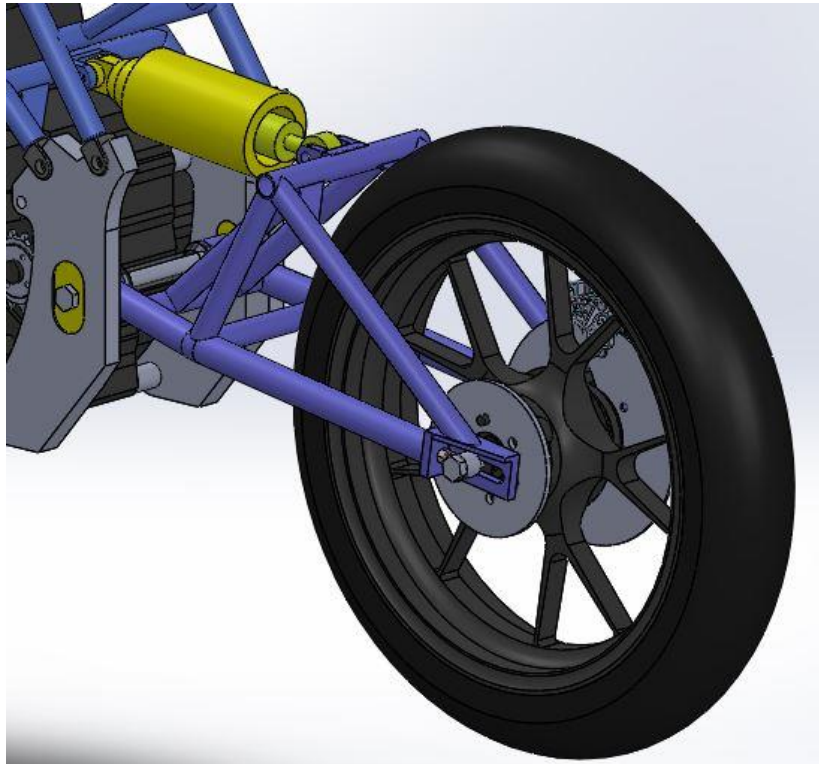
Pro přední držáky motoru jsme si vzali inspiraci z originálního rámu Hondy CBR 250 R, který má podobný mezikus spojující dva přední úchyty na motoru. Spojení je zde provedeno velmi podobně, jako je tomu u bočnic s hlavními trubkami. Obdobně jsou zde montážní díly, které jsou zavařené do konců trubek. Zde ale nejsou šrouby jako pojící prvek, ale osy, jdoucí skrz držáky a motor. Každý držák (na obrázku žlutý) má jinou délku rozpěrky. Délka je určena správnou polohou motoru v rámu.



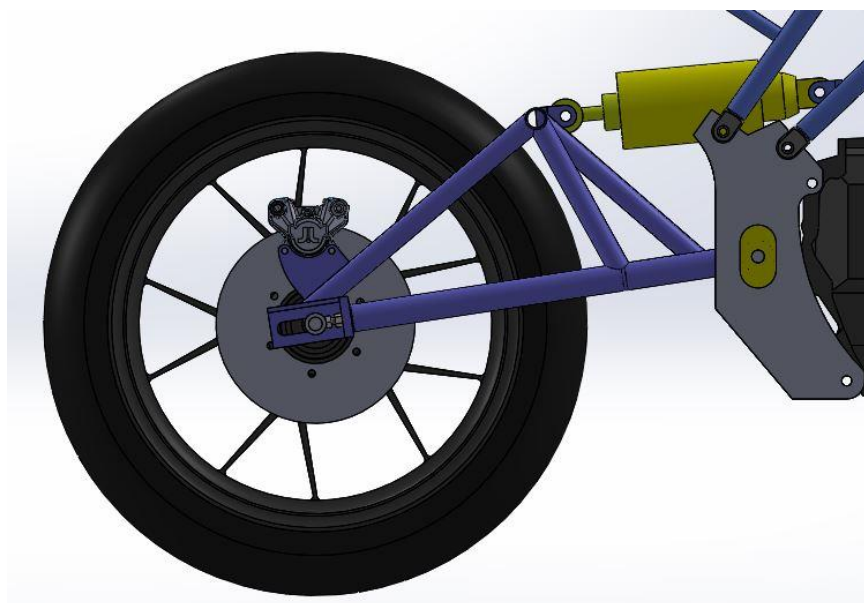
Obrázek 50 - Model předních držáků motoru a jejich spojení k hlavním trubkám

4.3 Zadní kyvná vidlice

Většina závodních motocyklů má zadní kyvné vidlice z hliníkových odlitků, protože jsou velmi tuhé a lehké. Kyvné vidlice svařené z trubek nebo jiných profilů se většinou používají u obyčejných motorek, kde nejsou tak zatíženy a namáhány a nezáleží tolik na hmotnosti. Nicméně pro nás bylo nejvýhodnější a nejrychlejší udělat příhradovou kyvnou vidlici, naše namáhání nebude tak veliké a příhrada se nechá udělat i velmi tuhá, ale za cenu vyšší hmotnosti.



Obrázek 51 - Model zadní kyvné vidlice, pohled 1



Obrázek 52 - Model zadní kyvné vidlice, pohled 2

4.3.1 Zadní pneumatika a ráfek

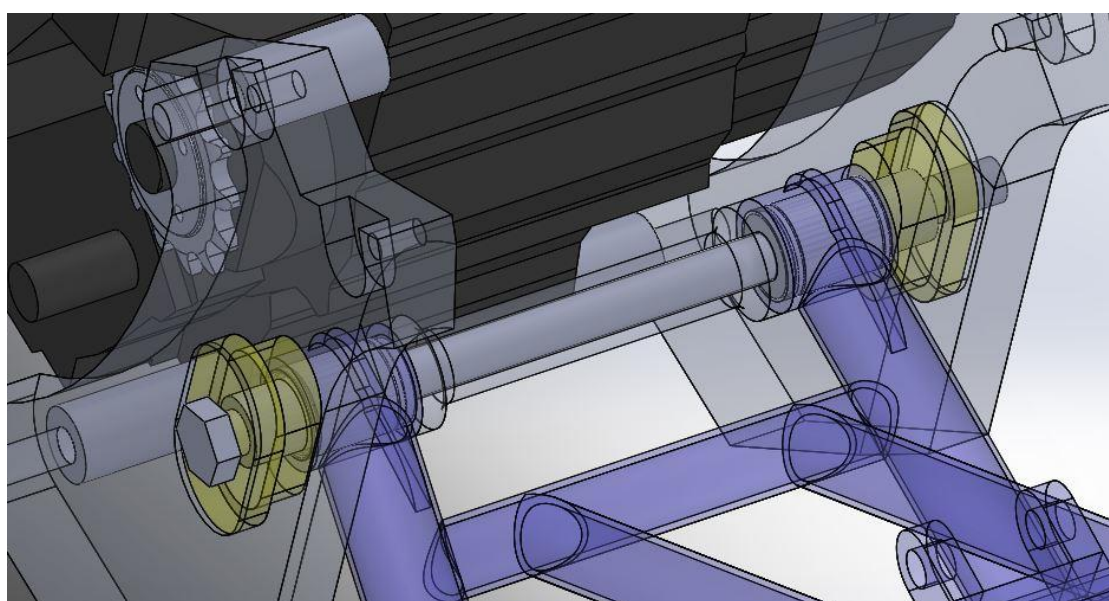
Zadní pneumatika a ráfek byly dodány Organizací a musí být použity na prototypu. Je to zadní ráfek Marchesini M10RS Kompe Moto3 - 3,5" x 17" a slicková pneumatika Dunlop KR133 C 115/70 R17. Každý tým si může pořídit další pneumatiky („suché“ i „mokrě“) přes Organizaci.



Obrázek 53 - Model zadního ráfku s pneumatikou

4.3.2 Uložení kyvné vidlice

Uložení kyvné vidlice se skládá z mnoha dílů. Základem jsou dvě jehlová ložiska, která jsme vzali z uložení z Aprilie, ale pouze jen ložiska a O-kroužky, zbytek jsme vyrobili nově. Jako nové trubky, na kterých ložisko rotuje, a které jsou 17 mm zapuštěné do vložky v bočnici. Ložiska jsou zalisovaná do trubek, ke kterým je celá kyvná vidlice přivařená. Mezi těmito částmi je velká rozpěrka a skrz všechno vede osa zajištěná matkou s podložkou. Materiál všech nově dělaných dílů pro uložení je ocel ISO 11 353.



Obrázek 54 - Model uložení kyvné vidlice

4.3.3 Zadní tlumicí jednotka

Nepoužili jsme přepákování, jak bývá u podobných motocyklů zvykem, ale jednoduchý „ležící“ tlumič. Přepákování má mnoho výhod, a proto se hojně využívá v motocyklovém průmyslu, ale je velmi složité na spočítání a musí být vyrobeno přesně, protože zde vznikají obrovské síly na malém rameni. Shledali jsme přepákování příliš složitým, a proto jsme přišli s alternativou. Pro náš zadní tlumič jsme měli vzor opět v Megelli 125 R a v Kawasaki ER-6n/f. Tyto modely mají jeden centrální tlumič a nemají přepákování. Náš tlumicí systém je stejný jako má Megelli, jeden tlumič uprostřed motocyklu, zamontovaný mezi rám a kyvnou vidlici. Kawasaki jej má podobně, ale na pravé straně motocyklu. ER-6n/f je zmíněna i proto, že náš tlumič je z tohoto modelu. Z Pravidel máme opět omezené možnosti nastavování, ale tento tlumič vyhovuje podmínkám. Český distributor značky Öhlins, společnost Halbich, nám jej poskytli za sníženou cenu. Označení tlumiče je Öhlins KA 037 a jeho specifikace jsou:

Zdvih:	49,5 mm
Délka:	282 mm
Průměr pístu:	46 mm
Pružina:	01093-74
Hodnota N/mm:	180 N/mm
Nastavení:	Předpětí pružiny a nastavení odskoku

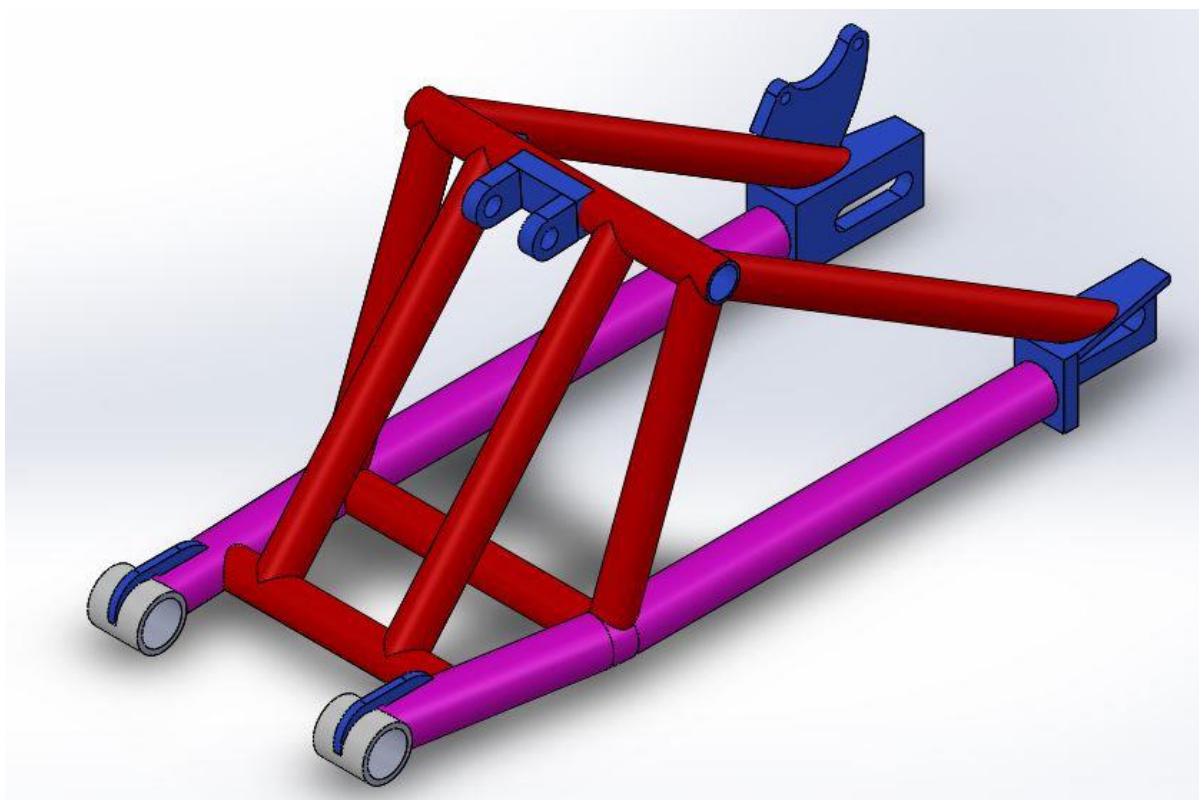


Obrázek 55 - Öhlins KA 037 [20]

4.3.4 Design kyvné vidlice

Design je jednoduchý a funkční. Dvě hlavní trubky jsou přivařené k příčným trubkám, na kterých rotují ložiska, a pokračují do dílu napínání řetězu. Ve specifické výšce je příčná trubka, na které je ve správném úhlu držák zadní tlumič jednotky (Č. Výkresu CTU5-05-013, ale je stejný jako CTU5-04-011). Další trubky jsou již výztužné příčky této příčné trubky. Na Obrázku 56 jsou označeny rozměry jednotlivých trubek, které jsme použili. Trubky jsme použili stejné jako pro rám.

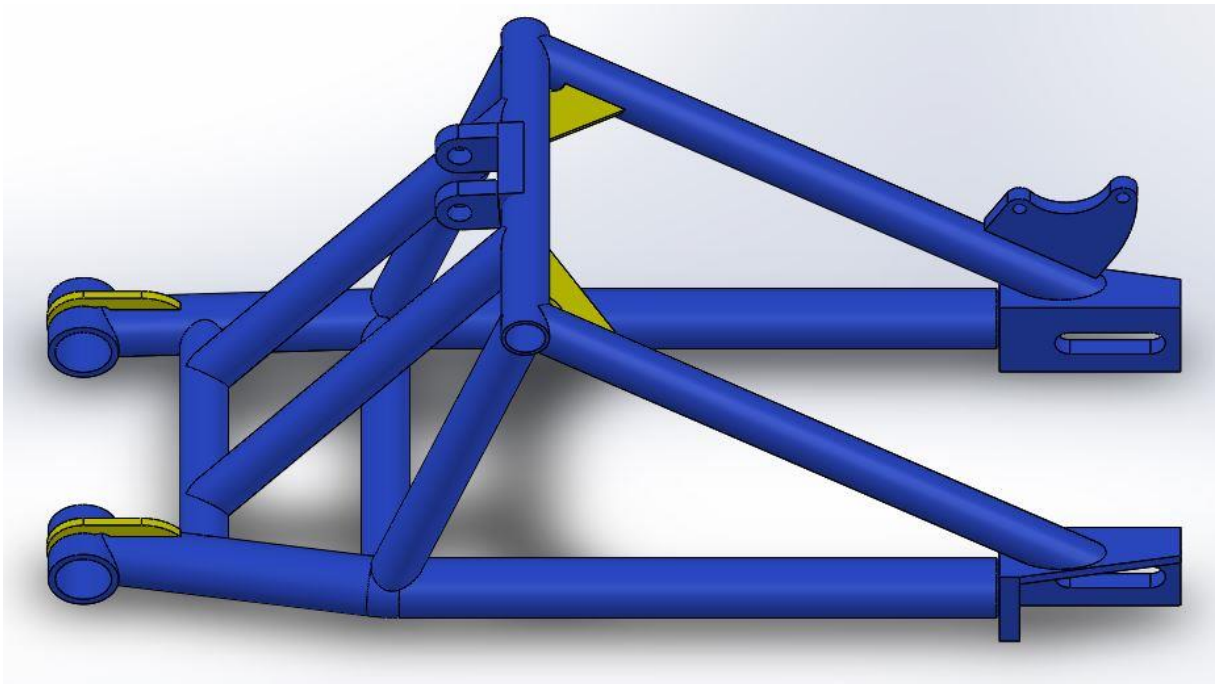
- Ø 24 x 2 mm
- Ø 30 x 1,5 mm
- Ø 35 x 3,5 mm



Obrázek 56 - Model kyvné vidlice s barevným označením použitých trubek

Rozměry a kóty celé kyvné vidlice jsou ve výkresu číslo CTU5-05-022.

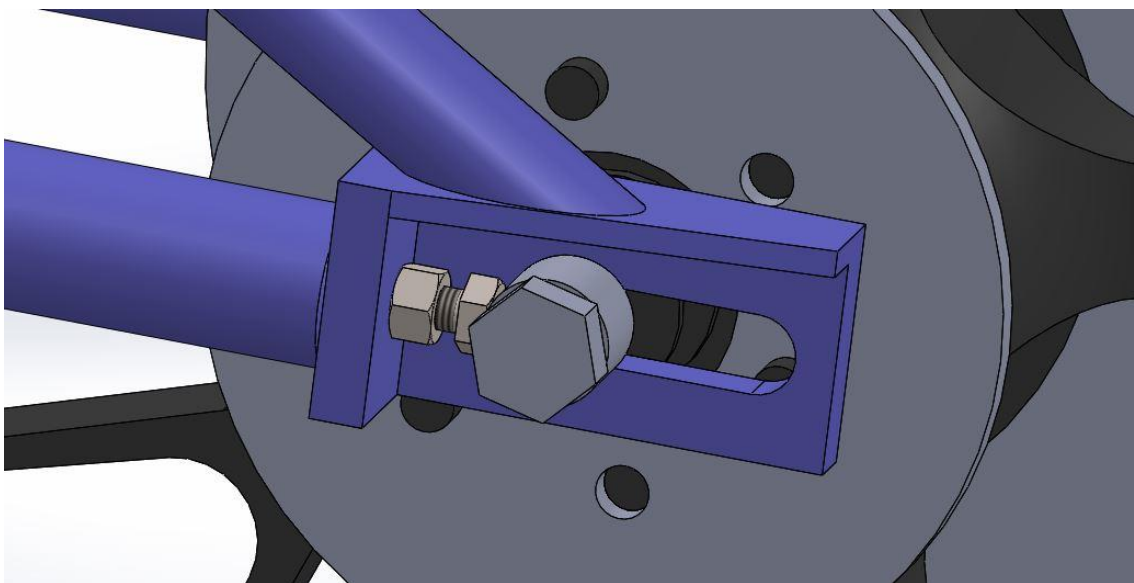
Na některých místech jako u držáku tlumiče a u uložení kyvné vidlice jsou výztužné plátky. Je možné, že budeme muset použít další výztužné plátky, stejně jako v případě rámu. Plátky mají tloušťku 3 mm a jsou z oceli ISO 11 353.



Obrázek 57 - Model kyvné vidlice s výztužnými plátky

4.3.5 Napínání řetězu

Napínák řetězu je opět vyroben z oceli ISO 11 353. Má trn, který je uvnitř hlavní trubky kyvné vidlice, a na konci trubky jsou svařené dohromady. Dráha napínání je 40 mm, což by mělo být dostatečné. V trnu je M8 závit. Napínání je prováděno přes šroub se šestihrannou hlavou, který se hlavou opírá o „velkou“ podložku pod osou zadního kola. Šroub je zajištěn proti rotaci šestihrannou matkou. Celý napínák je přímo na rozpěrné vložce ráfku. V případě zadního kola jsme nedělali žádné úpravy rozpěrných vložek a použili jsme ty, které jsme dostali s ráfkem. Osa zadního kola má průměr Ø15 mm, je vedena skrz všechny díly zadního kola a na konci zajištěna matkou. (Č. Výkresu CTU5-05-015)



Obrázek 58 - Model systému napínání řetězu zadního kola

4.3.6 Zadní řetězové kolo

Nechali jsme si vyrobit tři řetězová kola (tzv. „rozety“) společností Contra, každou s jiným počtem zubů – 30, 33, 36. Typ řetězu je 520 (staré označení 5/8“ x 1/4“), takže tloušťka rozety je 6,35 mm. Vnitřní průměr je 51 mm a rozteč třech zajišťovacích šroubů je 76 mm. Mezi rozetou a ráfkem je distanční podložka o tloušťce 10 mm. Přední řetězové kolečko jsme zakoupili originální se 14 zuby z Hondy CBR 250 R. Řetěz má délku přibližně 1550 mm.

4.3.7 Zadní brzda

Zadní brzdový třmen je jedno-pístový J.Juan ID0006-14-FC1 dodaný Organizací společně s nožní pumpou (bez páčky) a musí být použity na prototypu. Třmen má dva otvory s M8 závity, stačilo tedy navrhnout tvar a vyříznout jej z 5 mm ocelového plechu. Třmen je přimontován k plechu dvěma M8 šrouby. Zadní kotouč má vnější průměr 220 mm, vnitřní 88 mm, rozteč zajišťovacích šroubů je 96 mm a tloušťka kotouče je 5 mm. Tento kotouč není komerční, ale vyrobili jsme si jej sami z oceli ISO 11 373. Pumpa nožní brzdy bude při pravé stupačce, jako je tomu zvykem u motocyklů. Dále jsme použili hadičky a brzdové obložení, které nám poskytla Organizace a páku nožní brzdy z Aprilie.

5 Ověření funkčnosti návrhu

5.1 Výpočet správné funkce zadního tlumiče

Návrh polohy zadního tlumiče nemůže být náhodný, ale musí se ověřit, že bude při jistém nastavení tlumící jednotka pracovat správně. Finální parametry závisí na použité tlumící jednotce a jejích parametrech, na geometrii uložení tlumiče, na orientaci a fixaci jednotky mezi rámu a kyvnou vidlicí a na silách, které působí na motocykl.

Jelikož jsme se rozhodli nepoužít přepákování a jednoduše zafixovat tlumící jednotku mezi rámu a kyvnou vidlicí v patričném úhlu, je výpočet jednodušší. Výpočet musí potvrdit, že zadní tlumič:

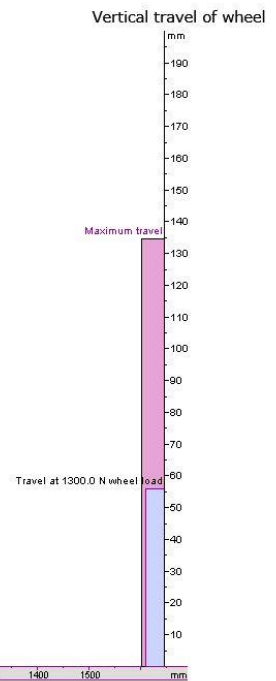
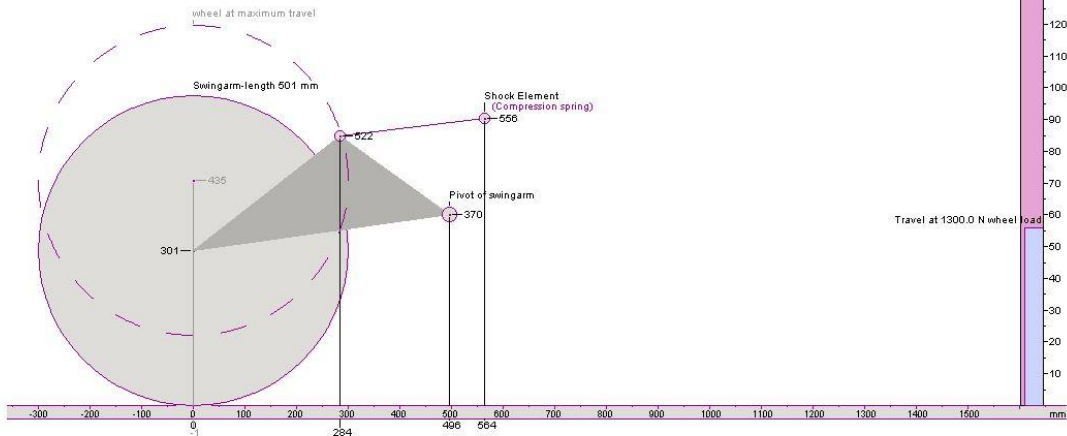
- Vykazuje progresivitu
- Při zatížení motocyklu nesmí být překročen maximální zdvih
- Tlumič je schopen vypořádat se se zatížením minimálně 3 kN

Použili jsme jednoduchou java aplikaci, do které jsme zadali naši geometrii a parametry tlumiče. Hlavní body geometrie jsou osa zadního kola, uložení kyvné vidlice, uchycení tlumící jednotky na kyvné vidlici a na rámu. Geometrie našeho prototypu je zakótována ve výkresu číslo CTU5-06-006.

Z této geometrie a parametrů tlumiče vychází maximální zdvih zadního kola necelých 135 mm.

Nejprve jsme zadní kolo zatížili silou 1300 kN což přibližně odpovídá 60% z celkového zatížení motocyklu vlastní vahou a jezdce při jízdě. Výsledek je na Obrázku 60.

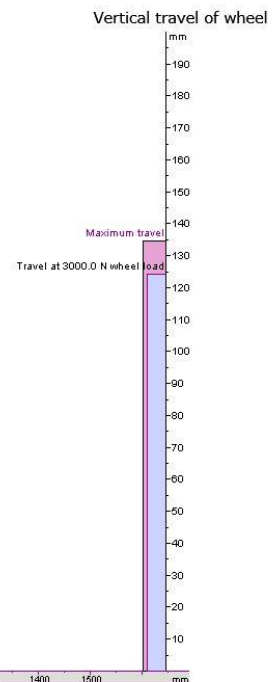
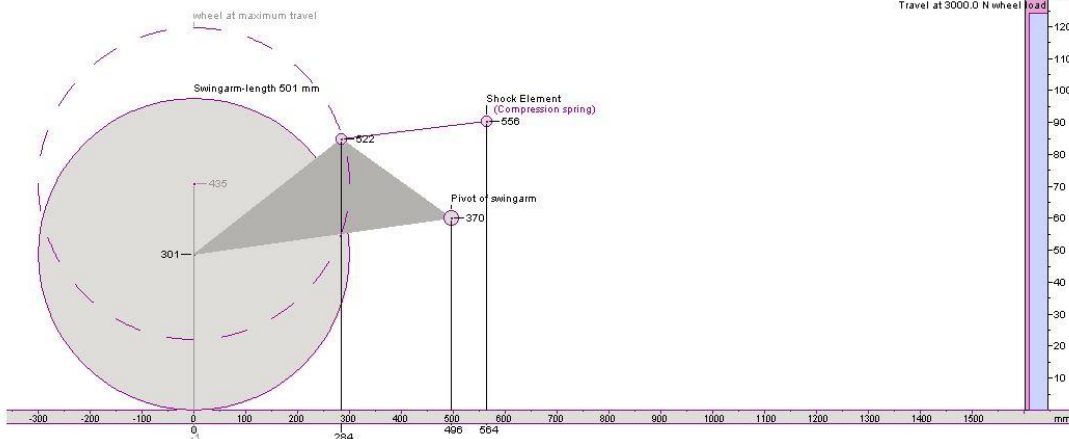
Apply values				Decimal-point: comma or point	
Wheel	601	mm	Length Shock-Element	282	mm
Wheel Load	1300	N	Travel Shock-Element	49,5	mm
			Spring-Rate Shock-Elem.	180	N/mm



Obrázek 59 - Výpočet zadního tlumiče při zatížení 1,3 kN [21]

Při zatížení 1,3 kN je zdvih zadního kola přibližně 56 mm. Následně jsme zatížili zadní kolo silou 3 kN což je maximální možná síla, která by mohla působit na zadní kolo při závodní jízdě. Výsledek je na Obrázku 61.

Apply values				Decimal-point: comma or point	
Wheel	601	mm	Length Shock-Element	282	mm
Wheel Load	3000	N	Travel Shock-Element	49,5	mm
			Spring-Rate Shock-Elem.	180	N/mm



Obrázek 60 - Výpočet zadního tlumiče při zatížení 3 kN [21]

Při maximálním zatížení 3 kN je zdvih 124 mm, což znamená, že není překročen maximální zdvih a máme ještě 11 mm rezervu.

Koeficient progresivity p můžeme spočítat pomocí jednoduchého vzorce:

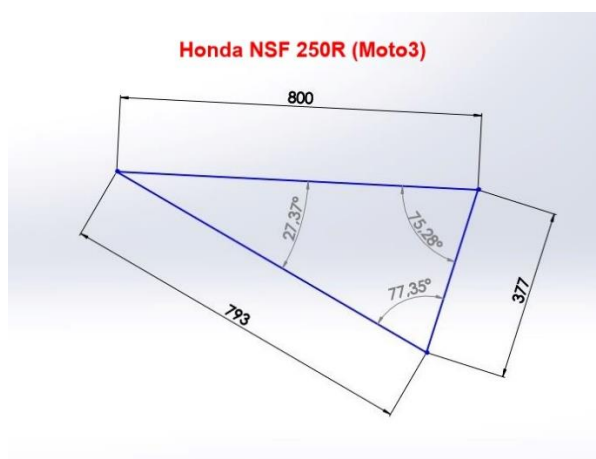
$$p = \frac{x_1}{x_2} = \frac{\frac{f_2}{l_2}}{\frac{f_1}{l_1}}$$

$$p = \frac{3000}{\frac{1300}{\frac{124}{56}}} = 1,042$$

Koeficient progresivity je vyšší než jedna ($p > 1$), je tudíž potvrzena malá progresivita.

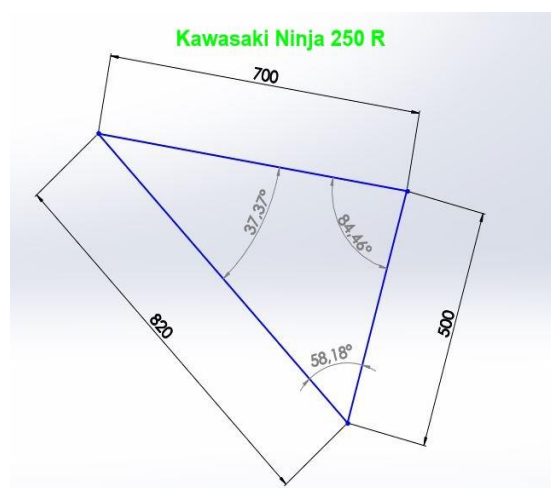
5.2 Ergonomie

Trojúhelník posedu je velmi důležitý pro ovládání motocyklu a pohodlí jezdce. Pro porovnání jsem změřil čtyři motocykly, všechno kapotované sportovní modely, a jeden z nich je dokonce zástupce kategorie Moto3. Sehnat technické parametry závodního motocyklu je jinak prakticky nemožné, protože tovární značky si tyto informace chrání. Při návrhu jsem se snažil co nejvíce držet trojúhelníku Hondy NSF 250R, nicméně naše geometrie to příliš nedovolovala. Trojúhelník posedu našeho prototypu lze určit pouze přibližně, protože stupačky a sedlová část ještě není v tuto chvíli hotova a nevíme jejich přesnou polohu.



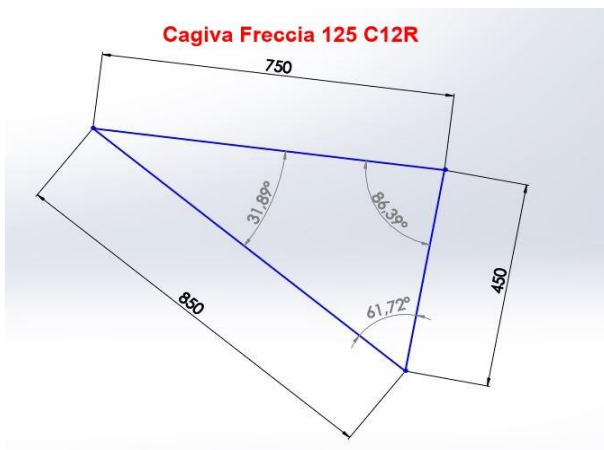
Obrázek 61 - Trojúhelník posedu

Honda NSF 250R

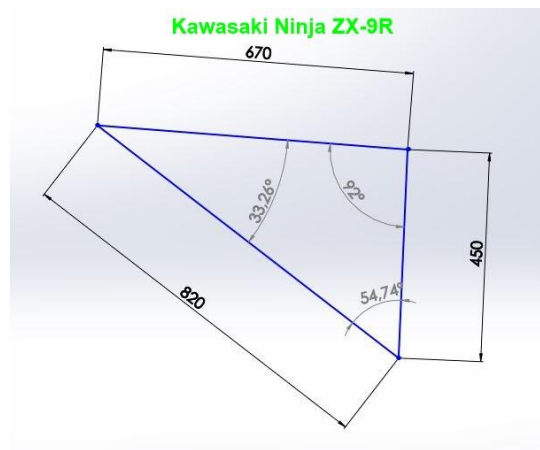


Obrázek 62 - Trojúhelník posedu

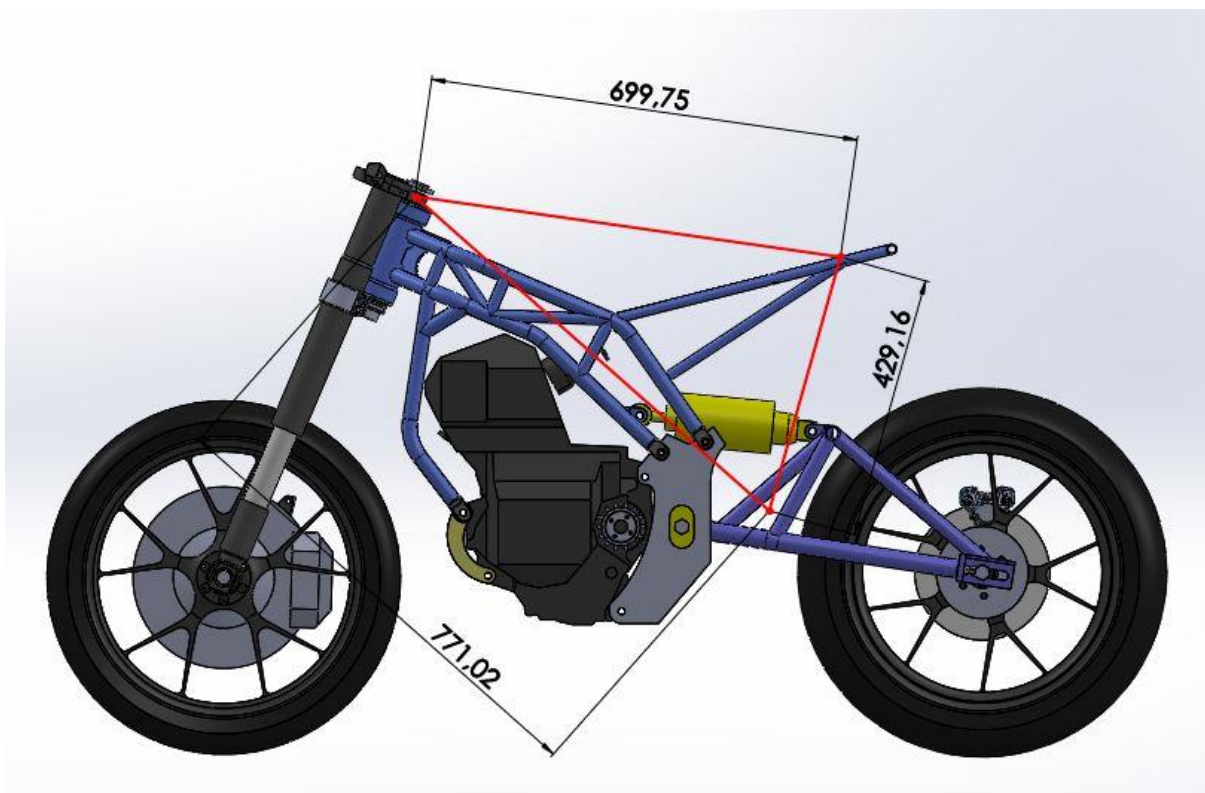
Kawasaki Ninja 250 R



Obrázek 63 - Trojúhelník posedu
Cagiva Freccia 125 C12R



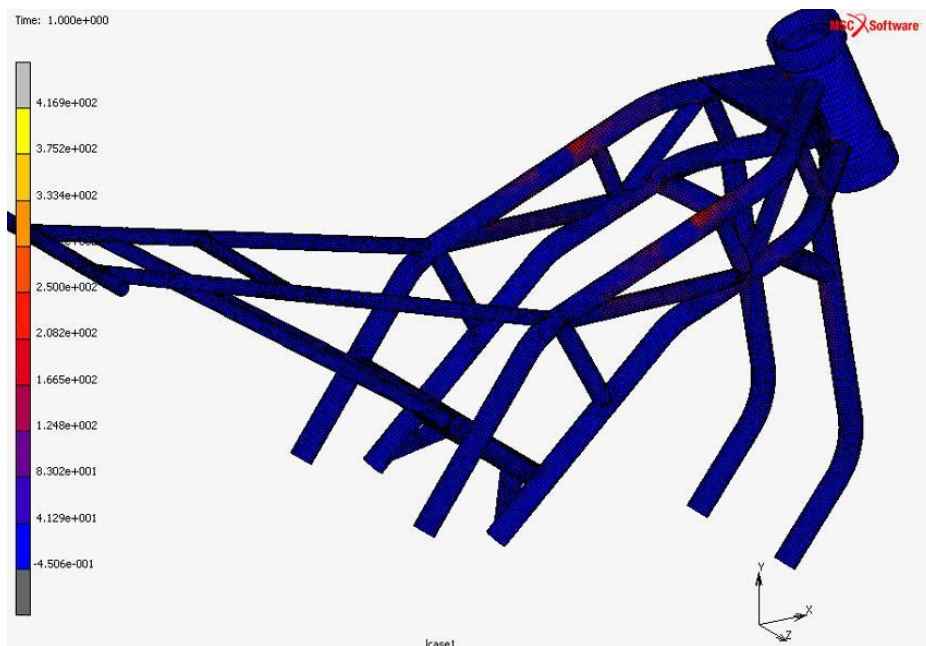
Obrázek 64 - Trojúhelník posedu
Kawasaki Ninja ZX-9R



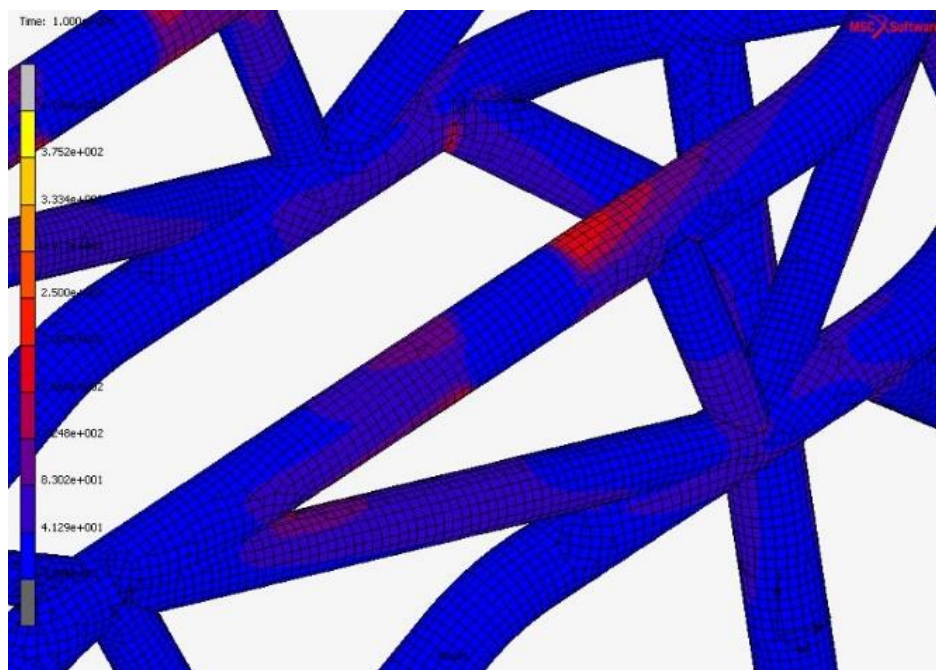
Obrázek 65 - Přibližný trojúhelník posedu našeho prototypu

5.3 Statická simulace

Statická simulace není předmětem této práce, ale úlohou týmových kolegů. Statickou simulaci rámu provedl týmový kolega Ondřej Paprčka. Zde se jenom zmíním, že mnou navržený rám pevnostně vyhovuje statické simulaci, kdy byl rám zatížen silou 4 000 N působící v ose uložení zadního pérování a silou 1 600 N v ose uložení předního kola. Splnil i všechny další zkoušky, které byly provedeny. Statická simulace byla provedena v simulačním softwaru MSC Marc. Další dynamické simulace provedl týmový kolega Vojtěch Ludvík.



Obrázek 66 - Výsledek statické simulace



Obrázek 67 - Nejvíce namáhané místo

6 Závěr

Předložená bakalářská práce navrhuje podvozek motocyklu pro soutěž MotoStudent. Návrhu všech konstrukčních prvků předcházela studie projektu podle struktury, která je uvedena v úvodu. Vlastní konstrukce se řídila jak teoretickými výpočty, tak empirií několika konstruktérů s bohatými zkušenostmi, s nimiž byl průběh konzultován.

Na úvod své práce jsem vypracoval stručnou rešerši na téma používané rámy. S touto problematikou bývá problém, protože se typy rámu od sebe příliš neliší a jsou tak snadno zaměnitelné. Navíc není stanovena pevná terminologie, a proto se v různých zdrojích říká tomu stejnému jinak.

Jako další krok jsem přiblížil soutěž MotoStudent, jak soutěž probíhá a co je jejím cílem. Dále jsem představil náš fakultní tým CTU Lions a napsal o nás pár vět, čeho se snažíme dosáhnout. Poté následuje stručné seznámení s naším závodním prototypem, jak by měl vypadat a co je jeho základem. Organizace MEF pořádající soutěž MotoStudent nám poskytla dokument v anglickém jazyce, který obsahoval jak průběh soutěže a jejich podmínky, tak všechna technická omezení a pravidla. Z těchto pravidel jsem přeložil do češtiny a vytvořil kompletní výňatek technické sekce. Podle tohoto souboru pravidel a omezení jsem při návrhu postupoval.

Stěžejní částí mé práce je popis návrhu našeho prototypu. Tato část je brána od začátku motocyklu po jeho konec. Proto začíná předním kolem a končí zadní brzdou. V mém zadání bakalářské práce sice stojí pouze návrh rámu, ale v této práci jsem zohlednil celý podvozek, tedy i přední vidlici a zadní kyvnou vidlici. Snažil jsem se u každého dílu ospravedlnit jeho design, a proč je použit zrovna na tomto místě. Taktéž jsem zohlednil možnosti jiných typů rámu a vysvětlil důvody pro naše rozhodnutí. To samé jsem udělal pro výběr tlumičů.

Nakonec práce jsem provedl početní ověření správné funkce zadního tlumiče, předvedl trojúhelník posedu na našem prototypu a nakonec velmi stručně popsal výsledek statické pevnostní simulace, kterou provedl týmový kolega.

Popis návrhu odpovídá stavu prototypu na konci července 2016. Při samotné výrobě bylo nutno některé tvary i rozměry upravovat tak, aby byla zjednodušena technologie výroby podle možností týmu a Fakulty dopravní. Nicméně na prototypu se neustále intenzivně pracuje a motocykl nám roste před očima.

Jsem velmi rád, že jsem se do toho projektu přidal, protože se stal mojí vášní. Díky tomuto projektu jsem se naučil nespočet nových věcí, ať už výrobního rázu, tak práce v 3D softwaru a následnému vytváření výrobní dokumentace. Také jsem se setkal s mnoha lidmi z motocyklového průmyslu a většina z nich nám neváhala udělat exkurzi po své výrobní hale či montáži, za což jsem velmi vděčen.

Myslím si, že náš prototyp je i poměrně technicky zajímavý a mohl by zaujmout širokou veřejnost, až bude zcela zhotoven, a že se za něj ve španělsku nebudeme muset stydět.

Literatura

- [1] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1601-7.
- [2] JANSA, Vladimír. *Konstrukce motocyklu: určeno konstruktérům a studujícím průmyslových a vysokých škol*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1960. Řada strojírenské literatury.
- [3] ROLLINGER, Mirek. *Technika motocyklu: 8. část - podvozek* [online]. In: . [cit. 2016-07-17]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/clanky-predstavujeme/obraz-dela-ram-30192.html>
- [4] HANLON, Mike. *Ducati Desmosedici GP9 carbon fibre frame* [online]. In: . [cit. 2016-07-19]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/ducati-desmosedici-gp9-takes-first-motogp-win-for-carbon-fibre-construction/11456/>
- [5] MOTO ENGINEERING FOUNDATION. *MotoStudent: Competition Regulations*. Španělsko, 2015. Dostupné také z: <http://motostudent.com/>
- [6] PUCHMAJER, Pavel. *Pružnost a pevnost*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03244-2.
- [7] ČZ 125A (1946-1947). *Motoveteran* [online]. [cit. 2016-07-23]. Dostupné z: <http://motoveterani.mypage.cz/menu/cz/cz-125a-1946-1947>
- [8] VANCL, Karel. *Výukový materiál pro žáky: Automobily* [online]. [cit. 2016-07-23]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/150529-Vyukovy-material-pro-zaky.html>
- [9] Technika motocyklu - motocyklové rámy. *Okruháři* [online]. 2016 [cit. 2016-07-24]. Dostupné z: <http://www.okruhari.cz/cs/technika-motocyklu-ramy>
- [10] Race to Rebuild: The BMW R90/6 Part 3. *Motorcycle Classics* [online]. 2013 [cit. 2016-07-24]. Dostupné z: <http://www.motorcycleclassics.com/classic-german-motorcycles/bmw-r90-6-zmmz13jfzbea.aspx>
- [11] Obraz dělá rám. *Motorkáři* [online]. 2014 [cit. 2016-07-24]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/clanky-predstavujeme/obraz-dela-ram-30192.html>
- [12] 2010 Aprilia RSV4R Photos. *Motorcycle USA* [online]. 2009 [cit. 2016-07-24]. Dostupné z: <http://www.motorcycle-usa.com/photo-gallery/2010-aprilia-rsv4r/>
- [13] Kawasaki Ninja H2R Recalled In Australia. *Motorcycle.com* [online]. 2015 [cit. 2016-07-24]. Dostupné z: <http://blog.motorcycle.com/2015/06/25/manufacturers/kawasaki/kawasaki-ninja-h2r-recalled-in-australia/>

- [14] Monocoque frame. *Mototribu* [online]. [cit. 2016-07-30]. Dostupné z: http://mototribu.com/constructeur/kawasaki/2006/1400zrz/www.kawasaki-presse.info/Data/DP/ZZR1400_06/pages/c_monocoque.html
- [15] Honda. *Full HD pictures* [online]. 2016 [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <http://fullhdpictures.com/wp-content/uploads/2016/02/Different-Honda-Logo.png>
- [16] J. Juan. *Guiadeprensa* [online]. [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: http://www.guiadeprensa.net/empresa/contruccion-1/metal-1/juan_logo.gif
- [17] Marchesini. *brembo* [online]. [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <http://www.brembo.com/en/PublishingImages/company/il-gruppo/i-marchi-del-gruppo/marchesini%20520x240.jpg>
- [18] Dunlop. *2K Cup* [online]. [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <http://2kcup.com/wp-content/uploads/2014/07/Dunlop-2-Colour-Boxed.jpg>
- [19] Moto3 Forks. *Mupo* [online]. [cit. 2016-08-08]. Dostupné z: <http://www.mupo.it/product/20/0/163/moto--3>
- [20] KA 037 - Kawasaki ER-6f. *Öhlins* [online]. [cit. 2016-08-08]. Dostupné z: <https://www.ohlins.eu/en/products/motorcycle/ka-037--4365/>
- [21] Bicycle-suspension calculator. *kreuzotter* [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.kreuzotter.de/english/efeder.htm>

Seznam zkratk a symbolů

ČVUT	České Vysoké Učení Technické
CTU	Czech Technical University
MEF	Moto Engineering Foundation
ISO	International Organization for Standardization
EN	Evropské Normy
AW	Označení hliníku/tvářených slitin
MS	MotoStudent

Seznam obrázků

Obrázek 1 - ČZ 125 A (1946-1947) s vahadlovou přední vidlicí a napevno přidělané zadní kolo k rámu [7]	9
Obrázek 2 - Otevřený rám [8]	11
Obrázek 3 - Uzavřený rám [8].....	12
Obrázek 4 - Jednoduchý uzavřený rám Honda CL 350 Scrambler (1968) [9].....	12
Obrázek 5 - Rozdvojený uzavřený rám BMW R90/6 (1974) [10].....	13
Obrázek 6 - Páteřový uzavřený rám Honda CB900F Hornet (2002) [11]	13
Obrázek 7 - Mostový rám BMW K 100 (1983) [9]	14
Obrázek 8 - Deltabox Aprilia RSV4R (2010) [12]	14
Obrázek 9 - Příhradový rám Kawasaki H2R (2015) [13].....	15
Obrázek 10 – Monokokový rám Kawasaki ZX-12R (2006) [14]	15
Obrázek 11 - Logo soutěže MotoStudent [5]	16
Obrázek 12 - Logo našeho fakultního týmu CTU Lions.....	17
Obrázek 13 - Logo Honda [15]	18
Obrázek 14 - Logo Marchesini [17].....	18
Obrázek 15 - Logo J.Juan [16].....	18
Obrázek 16 - Logo Dunlop [18].....	18
Obrázek 17 - Omezení na řídítka [5].....	18
Obrázek 18 - Omezení na úhel mezi kapotáží a vozovkou [5].....	19
Obrázek 19 - Omezení na světlou výšku [5]	19
Obrázek 20 - Omezení na hranu přední pneumatiky [5]	19
Obrázek 21 - Omezení na hranu zadní pneumatiky [5].....	20
Obrázek 22 - Omezení na šířku sedla [5]	20
Obrázek 23 - Omezení na šířku kapotáže [5]	20
Obrázek 24 - Omezení na výšku sedla [5]	21
Obrázek 25 - Doporučené úhly ergonomie jezdce [5]	21
Obrázek 26 - Ukázka správného svaření trubkové konstrukce [5].....	22
Obrázek 27 - Omezení na přední blatník [5].....	22
Obrázek 28 - Minimální úhel natočení řídítek [5].....	25
Obrázek 29 - Model celého podvozku našeho prototypu CTU5.....	26
Obrázek 30 - Model předního kola	27
Obrázek 31 - Model předních vidlic z Aprilie RS 125.....	28
Obrázek 32 - Model držáku přední vidlice tzv. „brýlí“	28
Obrázek 33 – Model a popis uložení předního kola.....	29

Obrázek 34 - Model uložení předního kola.....	29
Obrázek 35 - Příklad moderního držáku předního třmenu [19]	30
Obrázek 36 - Sestava přední brzdy u Aprilie	30
Obrázek 37 - Výsledek na našem prototypu	31
Obrázek 38 - Model sestavy přední brzdy	31
Obrázek 39 - Model hlavy řízení se všemi komponenty.....	32
Obrázek 40 - Model celého rámu, pohled 1	33
Obrázek 41 - Model celého rámu, pohled 2	33
Obrázek 42 - Model celého rámu, pohled 3	33
Obrázek 43 - Model levé bočnice	34
Obrázek 44 - Model vložky pro nastavení výšky kyvné vidlice	34
Obrázek 45 - Model příhradového rámu s barevným označením rozměrů trubek.....	35
Obrázek 46 - Model rámu z levé strany	36
Obrázek 47 - Model výztužných plátek v blízkosti hlavy řízení.....	36
Obrázek 48 - Model držáku zadního tlumiče a výztužné plátky	37
Obrázek 49- Model spojení bočnic s hlavními trubky	37
Obrázek 50 - Model předních držáků motoru a jejich spojení k hlavním trubkám.....	38
Obrázek 51 - Model zadní kyvné vidlice, pohled 1	39
Obrázek 52 - Model zadní kyvné vidlice, pohled 2	39
Obrázek 53 - Model zadního ráfku s pneumatikou	40
Obrázek 54 - Model uložení kyvné vidlice	40
Obrázek 55 - Öhlins KA 037 [20].....	41
Obrázek 56 - Model kyvné vidlice s barevným označením použitých trubek	42
Obrázek 57 - Model kyvné vidlice s výztužnými plátky.....	43
Obrázek 58 - Model systému napínání řetězu zadního kola.....	43
Obrázek 59 - Výpočet zadního tlumiče při zatížení 1,3 kN [21].....	45
Obrázek 60 - Výpočet zadního tlumiče při zatížení 3 kN [21].....	45
Obrázek 61 - Trojúhelník posedu.....	46
Obrázek 62 - Trojúhelník posedu.....	46
Obrázek 63 - Trojúhelník posedu.....	47
Obrázek 64 - Trojúhelník posedu.....	47
Obrázek 65 - Přibližný trojúhelník posedu našeho prototypu	47
Obrázek 66 - Výsledek statické simulace.....	48
Obrázek 67 - Nejvíce namáhané místo	48

Seznam příloh

1.	CTU5-01-001.pdf	Hlava řízení	1:1
2.	CTU5-01-002.pdf	Vložka v hlavě řízení	2:1
3.	CTU5-02-007.pdf	Držák předního brzdového třmenu	1:2
4.	CTU5-03-002.pdf	Pravá bočnice	1:2
5.	CTU5-03-003.pdf	Vložka pro nastavení výšky kyvné vidlice (0 mm)	1:1
6.	CTU5-03-006.pdf	Montážní díl mezi hlavními trubky a bočnicí	1:1
7.	CTU5-04-001.pdf	Příklad výrobního výkresu pro ohyb trubek: Hlavní pravá horní trubka	1:2
8.	CTU5-04-011.pdf	Držák zadní tlumící jednotky (CTU5-05-013 je stejný, ale přivařen ke kyvné vidlici)	2:1
9.	CTU5-05-015.pdf	Levý díl napínání řetězu	1:1
10.	CTU5-05-022.pdf	Kyvná vidlice	1:5
11.	CTU5-06-001.pdf	Základní rozměry prototypu	1:10
12.	CTU5-06-006.pdf	Nastavení zadního tlumiče	1:5