



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Ondřej Paprčka

STATICKÉ ZKOUŠKY MOTOCKYLU MOTOSTUDENT

Bakalářská práce

2016



K616.....Ústav dopravních prostředků

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Ondřej Paprčka

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Statické zkoušky motocyklu Motostudent**

Název tématu (anglicky): Static Tests of Motostudent Motorcycle

Zásady pro vypracování

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

- Nastudujte předpisy a pravidla soutěže Motostudent
- Proved'te rozbor a popis požadovaných zkoušek závodního motocyklu se zaměřením na statické zkoušky
- Proved'te rozbor možností provedení těchto zkoušek
- Na základě předchozí analýzy zvolte vhodný způsob provedení předepsaných statických zkoušek na motocyklu vyvíjeném týmem CTU Lions v rámci ČVUT
- Proved'te ověření požadovaných parametrů závodního motocyklu

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: Rules and regulations Motostudent
FIRST, Jiří a kol. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Vyd. 1. Praha: S&T CZ, 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5.
Vlk F., Teorie a konstrukce motocyklů, Brno, 2004

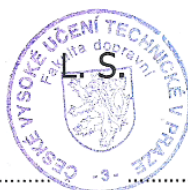
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Mík**

Datum zadání bakalářské práce: **23. června 2015**
(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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Ondřej Paprčka
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....23. června 2015

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli s tvorbou této práce. Zvláště bych rád poděkoval vedoucímu této práce Ing. Josefu Míkovi a také Ing. Jiřímu Firstovi.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

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 závažný důvod proti užití tohoto 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. srpna 2016

podpis



Abstrakt

Baklářská práce „Statické zkoušky motocyklu MotoStudent“ řeší problematiku statických simulačních zkoušek motocyklu v rámci soutěže MotoStudent. V první části této práce je popsána soutěž MotoStudent, se zaměřením na statické počítačové simulační zkoušky motocyklu MotoStudent. V druhé části této práce je uveden rozbor statické zkoušky zatížení rámu motocyklu MotoStudent s použitím počítačových simulačních programů.

Abstract

The bachelor thesis „Static Tests of MotoStudent Motorcycle“ deals with the parameters of static simulation tests of the MotoStudent motorcycle. The first part of this thesis describes the MotoStudent competition, while focusing on static computer simulation tests of the MotoStudent motorcycle. The second part of this thesis focuses on the analysis of a static strength test of the frame of the MotoStudent motorcycle using computer simulation programs.

Klíčová slova

Soutěž MotoStudent, motocykl, rám motocyklu, zkouška, simulace, pevnost.

Key words

MotoStudent competition, motorcycle, motorcycle frame, test, simulation, strength.

Obsah

| | |
|--|----|
| Seznam použitých zkratk | 8 |
| Úvod | 9 |
| 1 Soutěž MotoStudent | 10 |
| 1.1 Stavba motocyklu | 10 |
| 1.2 Návrh motocyklu | 11 |
| 1.3 Počítačové simulace motocyklu | 11 |
| 1.3.1 Statické zkoušky | 11 |
| 1.3.2 Dynamické zkoušky | 12 |
| 1.3.3 Vyhodnocení výkonnostních parametrů motocyklu | 13 |
| 1.4 Inovace | 14 |
| 1.5 Plán sériové výroby motocyklu | 14 |
| 1.5.1 Výrobní proces | 14 |
| 1.5.2 Ekonomická analýza | 15 |
| 1.6 Závěr soutěže MotoStudent | 15 |
| 1.6.1 Schválení motocyklu | 15 |
| 1.6.2 Prezentování projektu MotoStudent | 18 |
| 1.6.3 Vyhodnocení projektu | 18 |
| 1.6.4 Závod | 19 |
| 1.6.5 Vyhodnocení závodu | 21 |
| 2 Statické zkoušky motocyklu MotoStudent | 22 |
| 2.1 Pevnostní zkoušky rámu motocyklu MotoStudent | 22 |
| 2.2 Zatížení motocyklu různými silami a zkoumání reakcí struktury motocyklu na tyto síly | 23 |
| 2.3 Zkouška únavy materiálu | 23 |
| 2.4 Zkouška spojovacích prvků | 24 |
| 2.4.1 Svary | 24 |
| 2.4.2 Lepení | 25 |
| 2.4.3 Šrouby a nýty | 26 |

| | |
|---|----|
| 3 Provedení pevnostní zkoušky rámu motocyklu MotoStudent..... | 28 |
| 3.1 Rám motocyklu..... | 28 |
| 3.2 Příprava modelu rámu motocyklu..... | 29 |
| 3.2.1 Síť (mesh)..... | 29 |
| 3.2.2 MSC Patran..... | 30 |
| 3.2.3 MSC Apex | 32 |
| 3.3 Zkouška pevnosti rámu motocyklu | 40 |
| 3.3.1 Výsledky..... | 47 |
| Závěr..... | 51 |
| Použité zdroje..... | 53 |
| Seznam obrázků | 54 |

Seznam použitých zkratek

ČVUT – České vysoké učení technické

Úvod

V teoretické části této práce se zabýváme popisem soutěže MotoStudent, které se tento rok účastní tým Fakulty dopravní ČVUT v Praze. Přiblížíme si jednotlivé části projektu soutěže a také průběh soutěže. Zaměříme se na popis počítačových simulačních zkoušek motocyklu MotoStudent, především statických.

Praktická část této práce se skládá z počítačové simulace pevnosti navrženého rámu motocyklu MotoStudent. Základním cílem je zjistit, zda rám motocyklu vydrží určité zatížení, tzn., jestli napětí v materiálu nepřekročí hranici meze pružnosti, meze kluzu a meze pevnosti.

Tato práce navazuje na ostatní práce týmu CTU Lions, zejména pak na počítačový model motocyklu MotoStudent, který byl vytvořen Michalem Růžičkou a použit pro simulaci statického zatížení rámu motocyklu MotoStudent.

1 Soutěž MotoStudent

Soutěž MotoStudent je mezinárodní soutěž studentských týmů technických univerzit. Hlavní částí této soutěže je stavba silničního závodního motocyklu. Tým ČVUT má jméno CTU Lions a byl založen v roce 2015 na Fakultě dopravní ČVUT v Praze. Toto je první rok, kdy se tento tým účastní soutěže MotoStudent. Celý projekt se skládá z praktické a teoretické části. Praktickou částí je stavba motocyklu. Teoretická část se dělí na více menších částí, což jsou: návrh (design) motocyklu, počítačové simulace motocyklu, projekt inovace a zpracování plánu sériové výroby motocyklu. Jednotlivé kapitoly se hodnotí pořadatelé soutěže MotoStudent a přidělují se za ně určité počty bodů. Na závěr soutěže, pokud tým získal potřebný počet bodů z teoretické části soutěže, se konají závody těchto sestavených závodních motocyklů ve Španělsku na okruhu MotorLand Aragón. Na závodním okruhu se provádějí zatěžovací zkoušky motocyklu a nakonec se jede závod. [3]



Obrázek 1 - Logo MotoStudent [3]

1.1 Stavba motocyklu

Motocykl, postavený v rámci soutěže MotoStudent, musí být závodní silniční motocykl, který je postaven a navržen výhradně studenty. Stavba motocyklu je omezena nařízeními od pořadatelů soutěže. Komponenty s přesně stanovenými charakteristikami jsou motor, brzdy, pneumatiky a ráfky. Tyto komponenty jsou také přímo dodané od pořadatelů soutěže po zaplacení registračního poplatku. Ostatní komponenty jsou pouze omezeny určitými krajními hodnotami jejich charakteristik. Tým si tyto komponenty může upravovat, nebo přímo vytvořit. Například rám motocyklu týmu CTU Lions si tým navrhl a zhotovil sám. [3]

1.2 Návrh motocyklu

Před začátkem stavby motocyklu je vhodné udělat návrh motocyklu. Tento návrh je ve formátu počítačového modelu, kde jsou přesně stanovené rozměry jednotlivých částí. Tato část je velmi důležitá, protože dokáže přesně ukázat, zda motocykl půjde zkonstruovat a složit tak jak bylo plánováno. Případné úpravy se dají dělat velmi rychle a bez ztrát materiálu. Návrh motocyklu je také součástí projektu, který soutěž MotoStudent hodnotí. Na obrázku 2 je možné vidět vytvořený model motocyklu MotoStudent týmu CTU Lions. [3]



Obrázek 2 - Model motocyklu MotoStudent týmu CTU Lions

1.3 Počítačové simulace motocyklu

Počítačové simulace motocyklu MotoStudent jsou další částí, jež pořadatelé soutěže MotoStudent hodnotí. Tato část obsahuje statické a dynamické zkoušky motocyklu a vyhodnocení výkonnostních parametrů motocyklu. Díky těmto zkouškám bude také zřejmé, zda jednotlivé prvky motocyklu vyhovují celkové sestavě motocyklu. [3]

1.3.1 Statické zkoušky

Statické zkoušky motocyklu MotoStudent jsou hlavním tématem této bakalářské práce a jsou podrobněji vysvětlené v kapitole 2.

1.3.2 Dynamické zkoušky

Dynamické zkoušky motocyklu MotoStudent obsahují několik typů zkoušek. Jsou to: zkouška odpružení motocyklu, zkouška vibrací, zkouška aerodynamiky, zkouška těžiště a zkouška brzdění. [3]

Zkouška odpružení motocyklu

Odpružení motocyklu musí být uzpůsobeno tak, aby umožňovalo co nejvíce pohodlnou jízdu, a zároveň umožňovalo velmi bezpečnou jízdu. Tyto dvě charakteristiky závisí na tuhosti odpružení a jsou protichůdné, proto záleží pouze na konstruktérovi, kterou z charakteristik upřednostní. [1]

Zkouška odpružení motocyklu se obvykle simuluje počítačovými simulačními programy. Zkouška simuluje přejíždění nerovnosti na vozovce, kde se zkoumá, zda tuhost odpružení motocyklu vyhovuje požadavkům. Pokud by se provádělo reálné zkoušení motocyklu, pak by se nechalo kolo motocyklu jet po válci s určitým výstupkem určité výšky, který funguje jako nerovnost vozovky. Při simulaci můžeme tuto zkoušku provést stejně, ale můžeme také motocykl nechat jet po rovné dráze s nerovnostmi. Díky těmto zkouškám víme, jestli stávající systém odpružení motocyklu je adekvátní váze motocyklu, a tudíž vyhovuje potřebám pohodlné a přitom bezpečné jízdy. [1]

Zkouška vibrací

Mezi dynamické zkoušky motocyklu spadá i zkouška vibrací motocyklu. Tato zkouška zkoumá velikost a způsob vzniku a přenosu vibrací v motocyklu, a slouží pro zmenšení hluku vydávaného motocyklem a také pro zlepšení pohodlnosti řízení motocyklu. Zkoušku vibrací lze provést díky počítačovým simulačním programům. V pravidlech soutěže MotoStudent je stanoveno omezení hluku, který motocykl může vydávat, tudíž je důležité se této zkoušce věnovat. Vibrace vznikají nerovnostmi vozovky, nevyváženými hmotami rotačních částí motocyklu a nevyváženými hmotami posuvných částí motocyklu. Vibrace způsobené nerovnostmi vozovky se dají omezit odpružením motocyklu. Nevyváženými rotačními částmi motocyklu mohou být kola a hřídele motocyklu a nevyváženými posuvnými částmi motocyklu mohou být písty a ojnice motocyklu. Vyvážení těchto částí se musí řešit mechanicky. [1] [3]

Zkouška aerodynamiky

Další zkouškou, která patří do skupiny dynamických zkoušek, je zkouška aerodynamiky motocyklu. Vytvoření motocyklu, který je co nejvíce aerodynamický, tudíž má co nejmenší

součinitel aerodynamického odporu, velmi pomáhá výkonnostním charakteristikám motocyklu. Tuto analýzu lze provést díky simulačním počítačovým programům, které dokáží spočítat, jak vzduch obtéká model motocyklu a jaký součinitel aerodynamického odporu tento model má. Na základě této simulace můžeme upravovat tvar modelu motocyklu tak, aby byl co nejvíce aerodynamický.

Zkouška těžiště

Další dynamickou zkouškou je zkouška vlivu polohy těžiště na dynamické vlastnosti jízdy motocyklu. Pro tuto zkoušku musíme nejdříve najít polohu těžiště motocyklu, což lze provést v simulačním počítačovém programu, kde ovšem musíme znát přesné parametry všech částí motocyklu a přesné materiálové vlastnosti těchto částí. Dále můžeme přesouvat polohu těžiště, a to pomocí změny materiálu určitých částí, nebo změnou tvaru a polohy určitých částí. Při každé změně těžiště můžeme zkoumat dynamické jízdní vlastnosti motocyklu a následně vybrat nejvhodnější pozici těžiště. Poloha těžiště je také velmi důležitá pro realizaci ostatních dynamických a statických zkoušek.

Zkouška brzdění

Zkouška brzdných parametrů a brzdného chování motocyklu je další dynamickou zkouškou zahrnutou v projektu. Tato zkouška je zaměřená na zjištění brzdných schopností motocyklu (brzdné síly). Další částí této zkoušky je vyhodnocení chování motocyklu při velmi intenzivním brzdění. Tato zkouška úzce souvisí se zkouškou polohy těžiště, jelikož poloha těžiště má velký vliv na chování motocyklu při intenzivním brzdění, a také souvisí se zkouškou odpružení motocyklu, které má vliv na brzdné schopnosti a brzdné chování motocyklu. Díky této zkoušce můžeme vyhodnotit, zda brzdná síla, kterou je motocykl schopen vyvinout, je dostačující, a zda je chování motocyklu při intenzivním brzdění vyhovující.

1.3.3 Vyhodnocení výkonnostních parametrů motocyklu

Tato sekce se zabývá posouzením výkonnostních parametrů motocyklu a také výpočtem parametrů stupňů řazení motocyklu. Nejdříve je potřeba zjistit závislosti výkonu a točivého momentu motoru motocyklu na otáčkách motoru motocyklu. K řazení mezi jednotlivými stupni by mělo docházet v rozmezí otáček motoru, které je ohraničeno hodnotou otáček při maximální hodnotě výkonu motoru a hodnotou otáček při maximální hodnotě točivého momentu motoru. Díky této charakteristice je možno vytvořit pilový diagram, znázorňující rychlosti dosahované na jednotlivé stupně řazení. Dosahovaná rychlost na jednotlivé stupně řazení pak záleží na

zvoleném poměru sekundárního převodu motocyklu. Tým CTU Lions vybíral správný poměr sekundárního převodu pomocí změny počtu zubů rozety. [2]

1.4 Inovace

Inovace je nezbytnou součástí projektu MotoStudent. Touto povinnou částí dokáže soutěž MotoStudent dosáhnout toho, že studentské týmu projeví svoji kreativitu a posunou hranice motocyklů dále než jejich předchůdci. Inovace může být jakéhokoliv charakteru, ale musí být zpracována studenty. Tým CTU Lions použil jako inovaci upravenou hlavu řízení motocyklu, která umožní naklopení přední vidlice o několik stupňů dopředu či dozadu. Tímto naklopením lze změnit rozvor motocyklu a tím ovlivnit jízdní vlastnosti motocyklu. [3]

1.5 Plán sériové výroby motocyklu

Projekt soutěže MotoStudent není jen o návrhu a stavbě silničního závodního motocyklu, ale také o návrhu plánu sériové výroby tohoto motocyklu. [3]

Tým musí vymyslet teoretickou společnost, která sériově vyrábí tyto motocykly. Musí vymyslet možnou vhodnou lokaci pro postavení továrny na výrobu motocyklu s tím, že továrna musí mít požadovaný přívod energie a dobré napojení na dopravní infrastrukturu. Dále musí tým provést studii dopadu továrny na okolí a také na životní prostředí. [3]

Tato kapitola je rozdělena na dvě dílčí podkapitoly. Je to část projektu výrobního procesu a část ekonomické analýzy. [3]

1.5.1 Výrobní proces

Při řešení projektu výrobního procesu je potřeba nejdříve určit, které komponenty motocyklu se budou vyrábět přímo ze základních surovin přímo naší společností, a které komponenty se budou dovážet už zhotovené z jiných výrobních závodů. Při této volbě hraje roli mnoho faktorů, jako například způsob výroby jednotlivých prvků a potřebné vybavení k výrobě těchto prvků. Když mají dva komponenty stejné výrobní procesy a stejné potřebné vybavení k výrobě, pak je vhodné je vyrábět oba, a nebo je nevyrábět vůbec. [3]

Dále je potřeba sepsat, které prostředky, zařízení a stroje jsou potřebné k výrobě. [3]

Další částí specifikace výrobního procesu je sestavení diagramu výrobního procesu, který ukazuje, jakými procesy výroby budou postupně komponenty procházet, a následně se popíše, co přesně tyto procesy obnáší. [3]

Popis výrobního procesu musí obsahovat grafický návrh uspořádání jednotlivých zařízení a strojů výrobní linky, a seznam zaměstnanců potřebných k provozu výrobní linky. [3]

1.5.2 Ekonomická analýza

Ekonomická analýza musí obsahovat ve své první části průzkum trhu, ve kterém se snažíme zjistit potenciální zákazníky, studii poptávky, studii konkurence a možné problémy související s příchodem na trh. [3]

Druhá část ekonomické analýzy se zabývá vyhodnocením celkové ceny prototypu závodního motocyklu MotoStudent, která zahrnuje všechny aspekty výroby tohoto prototypu, jako jsou náklady na materiál, náklady na dodání komponentů atd. [3]

Třetí částí ekonomické analýzy je vyhodnocení celkových nákladů sériové výroby motocyklu. V této části se zabýváme ekonomikou podniku, kde se počítá nejen s materiálovými náklady na výrobu motocyklu, ale také s náklady na zaměstnance a energie. [3]

Ve čtvrté části ekonomické analýzy se zabýváme ekonomickou výhodností projektu, kde porovnáváme investice, rozpočet a náklady výroby. Z této analýzy pak můžeme vyvodit příslušné závěry. [3]

1.6 Závěr soutěže MotoStudent

Na závěr soutěže MotoStudent jednotlivé týmy technických univerzit dopraví své motocykly do Španělska k závodnímu okruhu MotorLand Aragón, kde budou prezentovat výsledky svých projektů a zúčastní se závěrečného závodu. [3]

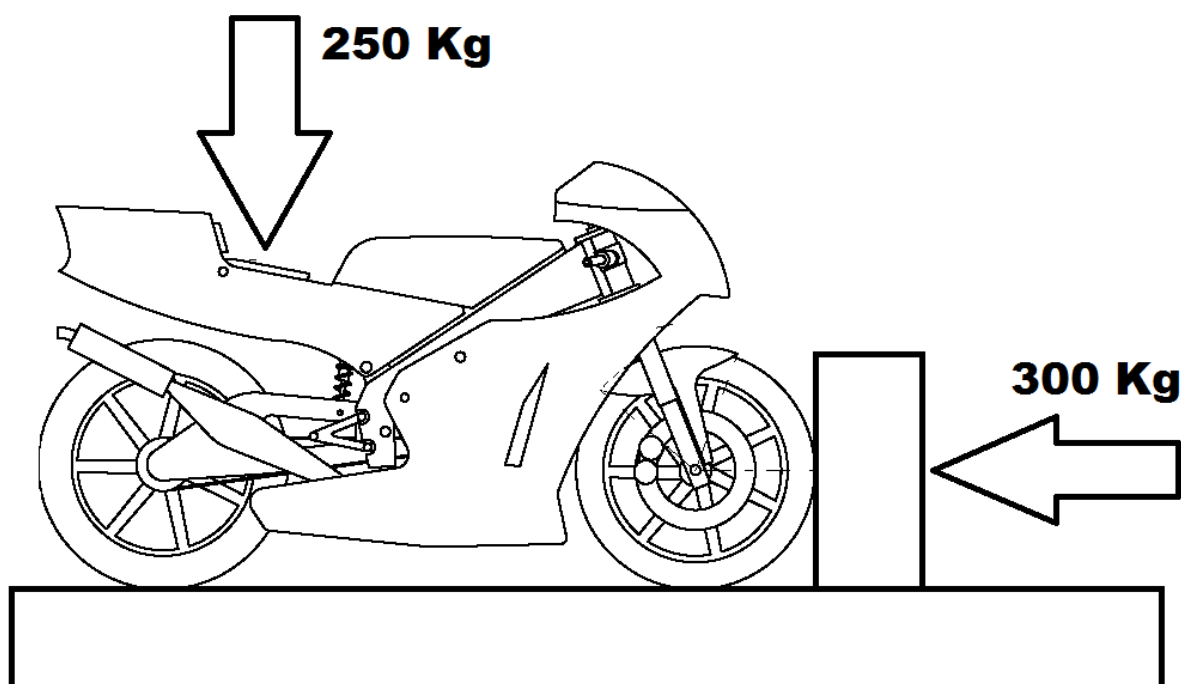
1.6.1 Schválení motocyklu

Než se přejde k prezentování projektu MotoStudent a k samotnému závodu, musí se zjistit, zda motocykly postavené jednotlivými týmy jsou bezpečné a jestli jsou postaveny dle pravidel soutěže MotoStudent. Při nesplnění podmínek jednotlivých testů může být tým vyloučen ze soutěže. [3]

Statické bezpečnostní zkoušky

Statické bezpečnostní zkoušky provádí odborní pořadatelé soutěže MotoStudent. Jsou zaměřeny na ověření motocyklu MotoStudent z hlediska pravidel soutěže MotoStudent. Všechny náhradní díly, které si tým s motocyklem přiveze, se musí podrobit této zkoušce též. Při provádění těchto testů mohou být u motocyklu přítomni pouze dva členové týmu. [3]

První ze statických testů je test zatížení motocyklu. Tento test se provádí pouze pokud si to organizátoři vyžádají. Motocykl se zatíží horizontálním a vertikálním zatížením, přičemž horizontální zatížení působí na přední kolo motocyklu a vertikální zatížení působí na sedadlo motocyklu. Horizontální zatížení je zatížení hmotností 300 kg a vertikální zatížení je zatížení hmotností 250 kg. Schéma této zkoušky můžeme vidět na obrázku 3. Tato zatížení proběhnou následně po sobě. Tato zkouška je zaměřena na vyzkoušení pevnosti rámu a celkové struktury motocyklu. Hodnotí se deformace vyvolané tímto zatížením a případné praskliny ve struktuře komponentů. [3]

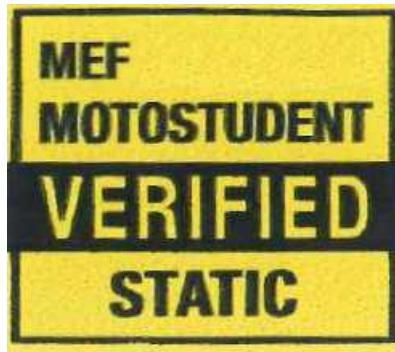


Obrázek 3 - Statická zatěžovací zkouška motocyklu MotoStudent [3]

Druhým testem statických bezpečnostních zkoušek je test brzd. Brzdy se testují na válcovém testeru brzd, přičemž brzdné síly motocyklu musí být nejméně 0,3 kN na předním kole a 0,25 kN na zadním kole. [3]

Dalším testem je test hluku. Hluk se měří přibližně ve vzdálenosti padesáti centimetrů od konce výfuku ve směru proudění výfukových plynů. Tento test se provádí na místě, které je co nejtíší a zároveň kolem motocyklu nejsou v oblasti tří metrů žádné zdi či zábrany. [3]

Pokud motocykl splní všechny tyto zkoušky, dostane nálepku (obrázek 4) potvrzující splnění statických bezpečnostních zkoušek a může přistoupit k dynamickým bezpečnostním testům. [3]



Obrázek 4 - Nálepka potvrzující úspěšné splnění statických zkoušek [3]

Dynamické bezpečnostní zkoušky

Po splnění statických bezpečnostních zkoušek je motocykl podroben dynamickým bezpečnostním zkouškám. Pořadatelé vyberou testovacího jezdce, který vystaví motocykl dynamickým testům na okruhu. Testovací jezdec vyzkouší chování motocyklu při normálním a agresivním stylu řízení a vyzkouší, zda je motocykl schopen bezpečně projet různé zatáčky při různých rychlostech. Na základě těchto zkoušek ohodnotí testovací jezdec bezpečnost motocyklu. Pokud je motocykl ohodnocen jako bezpečný, pak dostane nálepku (obrázek 5) potvrzující jeho bezpečnost. [3]



Obrázek 5- Nálepka potvrzující úspěšné splnění dynamických zkoušek [3]

Administrativní kontrola

Po schválení motocyklu z hlediska statických a dynamických bezpečnostních zkoušek se zkontroluje dokumentace motocyklu. Kontroluje se, zda je dokumentace v pořádku a jestli jednotlivé komponenty splňují pravidla soutěže. Po splnění této části dostane motocykl nálepku (obrázek 6), symbolizující splnění této části. Tým může následně postoupit k prezentování projektu MotoStudent. [3]



Obrázek 6 – Nálepka potvrzující úspěšné splnění administrativních zkoušek [3]

1.6.2 Presentování projektu MotoStudent

Následně probíhá prezentování projektů před komisí pořadatelů, přičemž tým může použít k prezentování Microsoft PowerPoint. Prezentování se musí účastnit minimálně dva členové týmu. Jednu část projektu mohou prezentovat maximálně dva členové týmu, avšak s tím, že žádný student se nesmí zapojit do prezentace všech částí projektu. V každé části prezentace musí být prezentován minimálně jeden snímek (slide), ve kterém jsou znázorněny závěry autorů těchto částí prezentace. Prezentace trvá maximálně dvacet minut s dalšími pěti minutami na doplňující otázky komise. Komise zastaví prezentování po dvaceti minutách bez ohledu na to, v jaké části prezentace se tým právě nachází. Po ukončení prezentace se může komise ptát na jakékoliv otázky jakýchkoliv členů týmu, aby zjistila hloubku zapojení jednotlivých členů týmu v projektu. [3]

1.6.3 Vyhodnocení projektu

Vyhodnocení projektu má na starosti komise, která je sestavená z expertů průmyslového odvětví, expertů na vývoj a expertů na automobilové a motocyklové závody. Komise hodnotí jak prezentaci týmu, tak i veškerou dokumentaci k projektu sepsanou týmem. [3]

Za celkové ohodnocení může tým získat maximálně 500 bodů, které jsou rozděleny podle kapitol takto: maximálně 75 bodů za část návrhu motocyklu, maximálně 125 bodů za část počítačových simulací motocyklu, maximálně 100 bodů za část inovace, maximálně 125 bodů za část výrobního procesu sériové výroby motocyklu a maximálně 75 bodů za část ekonomické analýzy sériové výroby motocyklu. Tým musí získat minimálně 40% bodů, což znamená 200 bodů, aby se mohl zúčastnit poslední fáze soutěže, tj. závodu na okruhu. [3]

Soutěž MotoStudent také vybere a odmění tři nejlepší projekty. Tým, jehož projekt je vyhodnocen jako celkově nejlepší technický projekt, dostane finanční odměnu 6000 €. Druhou

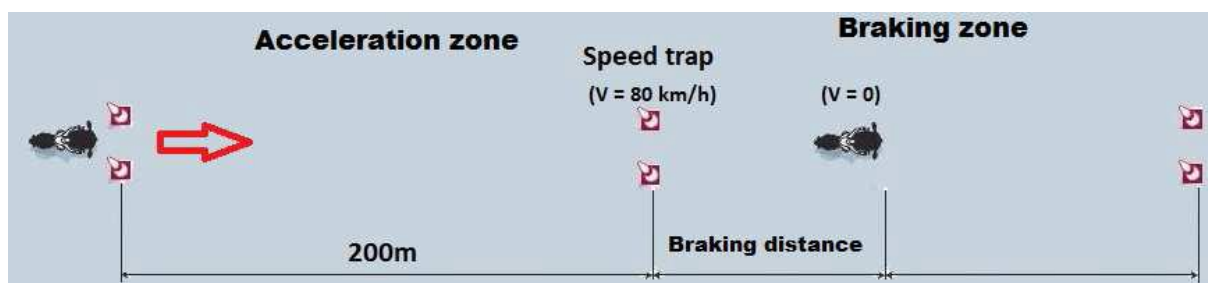
cenu 3000 € dostanou dva týmy. Za první tým, jehož projekt obsahuje nejlepší návrh motocyklu (design), a za druhé tým, jehož projekt obsahuje nejlepší technickou inovaci. [3]

1.6.4 Závod

Týmy, které splnily podmínku bodové hranice 40% bodů z projektu, jsou připuštěny k poslední fázi závěru soutěže MotoStudent. Tato poslední fáze se skládá z řady dynamických zkoušek chování motocyklu, zkoušek výkonnostních charakteristik motocyklu, a také ze zkoušek mechanických dovedností a organizačních schopností týmu. Po splnění těchto zkoušek může tým přistoupit k závodu na závodním okruhu. [3]

Zkouška brzdění

Zkouška brzdných schopností motocyklu je první dynamickou zkouškou provedenou před závodem. V této zkoušce se zkoumá vzdálenost, na kterou je motocykl schopen bezpečně zabrzdit z minimální rychlosti 80 km/h. Pro účely této zkoušky je vyhrazena plocha délky 350 metrů, přičemž maximální délka vyhrazená pro zrychlení motocyklu na rychlost 80 km/h je 200 metrů. Pořadatelé označí přesné místo umístění kamery měřící rychlost průjezdu motocyklu. Po průjezdu tímto místem se musí řidič motocyklu snažit zabrzdit na co nejmenší dráze. Počet bodů za tuto zkoušku bude přidělen až poté, co touto zkouškou projdou všechny týmy. Výpočet počtu bodů závisí na nejmenší vzdálenosti, na kterou se podařilo zastavit jednomu z týmů, na nejdelší vzdálenosti, na kterou se podařilo zastavit jednomu z týmů, a na vzdálenosti, na kterou se podařilo zastavit právě hodnocenému týmu. Rozsah počtu bodů se pohybuje od jednoho do šedesáti bodů. Při naměřené rychlosti průjezdu místem měření rychlosti menší než 80 km/h budou týmu přičteny určité penalizační délky k brzdné dráze. Tento test může tým provést maximálně dvakrát s tím, že se počítá lepší z těchto dvou pokusů. Schéma tohoto testu je vidět na obrázku 7. [3]

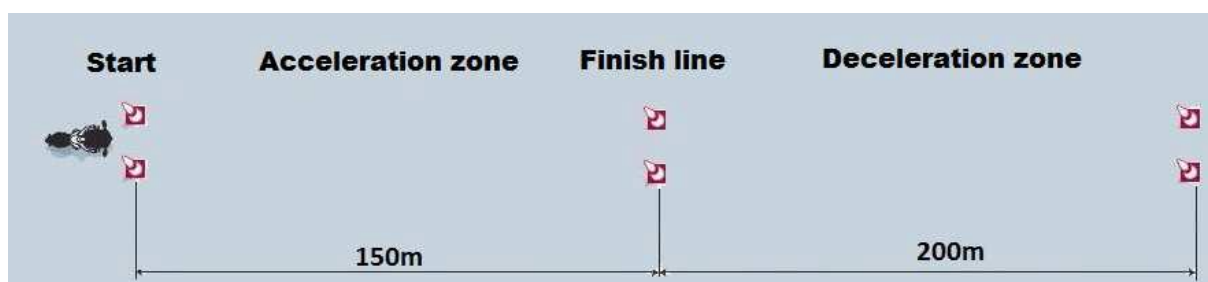


Gymkhana

Dalším testem dynamických vlastností motocyklu je časový závod gymkhana. Tento závod je malý slalom vytvořený z kuželů, který je zaměřen na vyzkoušení točivých schopností motocyklu a jezdce. Měří se celkový čas průjezdu celým okruhem. Za posunutí jednotlivých kuželů a také za vynechání jakéhokoliv kužele budou týmu připočítány penalizace. Tyto penalizace budou připočítány ve formě přidáných penalizačních časů k celkovému času průjezdu okruhem. Počet bodů získaných za tento test opět závisí na nejlepším čase průjezdu jednoho z týmů, na nejhorším čase průjezdu jednoho z týmů a na čase průjezdu hodnoceného týmu. Celkový rozsah možného uděleného počtu bodů se pohybuje mezi jedním a sto body. Tým má na tento test dva pokusy s tím, že se započítává lepší z těchto dvou pokusů. [3]

Test akcelerace

Tento test zkoumá akcelerační schopnosti motocyklu. Motocykl akceleruje na úseku trati délky 150 metrů, přičemž jezdec se musí pokusit rozjet co nejrychleji. Akcelerace se hodnotí podle času potřebného k přejetí celého úseku 150 metrů. Po přejetí tohoto úseku je vyhrazeno 200 metrů na bezpečné zpomalení a zastavení motocyklu. Počet bodů získaných za tento test opět záleží na nejlepším čase průjezdu jednoho z týmů, na nejhorším čase průjezdu jednoho z týmů a na čase průjezdu hodnoceného týmu. Celkový možný počet bodů přidělených za tento test se pohybuje v rozsahu jednoho bodu a šedesáti bodů. Na tento test mají týmy opět dva pokusy, přičemž se započítává lepší z těchto dvou pokusů. Schéma tohoto testu můžeme vidět na obrázku 8. [3]



Obrázek 8 - Schéma zkoušky akcelerace [3]

Zkouška mechanických dovedností týmů

Tato zkouška je zaměřená na ohodnocení mechanických dovedností týmu a také na zjištění, zda motocykl byl navržen tak, aby umožňoval snadné mechanické úpravy. Test se skládá z kompletního odmontování vrchní a spodní kapotáže včetně nádrže a následného zpětného namontování těchto částí. Zpětné namontování částí musí být provedeno přesně do stavu, ve

kterém bude motocykl závodit na okruhu. Tohoto testu se mohou zúčastnit pouze dva členové týmu. Na tento test dohlíží rozhodčí z řad pořadatelů, který stopuje čas potřebný k zvládnutí celého testu a také dohlíží na správné provedení testu. Počet bodů získaných za tento test záleží na nejlepším čase jednoho z týmů, na nejhorším čase jednoho z týmu a na čase hodnoceného týmu. Rozmezí přidělených bodů za tento test se pohybuje mezi jedním a třiceti body. [3]

Závod na okruhu

Před závodem je týmům poskytnuta možnost vyzkoušet si trať FIM Grand Prix International na okruhu MotorLand Aragón, která má délku 5 077,65 metrů. Každý tým má nárok na dva čtyřicetiminutové časové úseky na této trati. V druhém časovém úseku se bude na určitém místě na trati měřit rychlost průjezdu tímto místem. Týmy se pak musí pokusit projet toto místo co nejrychleji. Toto je další bodově hodnocený test, jehož hodnocení závisí na nejlepším čase průjezdu jednoho z týmů, na nejhorším čase průjezdu jednoho z týmů a na čase průjezdu hodnoceného týmu. Bodový rozsah pro tento test je jeden až třicet bodů. [3]

Po těchto dvou volných zkušebních časových úsecích se přejde ke kvalifikaci, u které se měří čas průjezdu jednoho kola trati. Týmy se mohou o dosažení nejlepšího času na kolo pokoušet v dalším čtyřicetiminutovém časovém úseku. Jednotlivé časy těchto kol jsou zaznamenány pořadateli a následně vyhodnoceny. Týmům jsou na základě jejich nejlepších časů přidány další soutěžní body, a to opět v porovnání s ostatními nejlepšími a nejhoršími časy ostatních týmů. Bodový rozsah pro tento test je jeden až čtyřicet bodů. [3]

Po této kvalifikaci se přejde k závodu. Startovní pozice týmů jsou stanoveny podle jejich nejrychlejších zaznamenaných kol. Z každé řady startovního roštu budou startovat tři motocykly. Závod se pojede na 8 kol, což znamená přibližně na 40,6 kilometru. Týmům bude přičten určitý počet soutěžních bodů závislý na pozici dokončení závodu, s nejvyšším počtem 150 bodů uděleným za první místo. Také se bodově hodnotí nejrychlejší kolo závodu, přičemž se nejrychlejší kolo týmu opět porovnává s časem nejrychlejšího týmu a časem nejpomalejšího týmu. Bodový rozsah pro tento test je jeden až třicet bodů. [3]

1.6.5 Vyhodnocení závodu

Ve výsledném vyhodnocení se hodnotí jednotlivé testy zmíněné v předešlé podkapitole a výsledná pozice v závodu. Maximální počet bodů dosažitelných v těchto testech je 500 bodů. První tři týmy s nejvyšším počtem bodů budou finančně ohodnoceny, a to odměnou 6000 € za první místo, 3000 € za druhé místo a 1500 € za třetí místo. [3]

2 Statické zkoušky motocyklu MotoStudent

V projektu soutěže MotoStudent by měly být obsaženy statické zkoušky motocyklu MotoStudent prováděné pomocí počítačových simulací. Reálné zkoušky tým MotoStudent neprovádí, provádí je pořadatelé soutěže MotoStudent na závěr soutěže před závodem ve Španělsku. [3]

Tyto zkoušky jsou vypsány v pravidlech soutěže MotoStudent, a jsou to: pevnostní zkoušky rámu motocyklu, zatížení motocyklu různými silami a zkoumání reakcí struktury motocyklu na tyto síly, zkouška únavy materiálu a zkouška spojovacích prvků. [3]

2.1 Pevnostní zkoušky rámu motocyklu MotoStudent

Pevnost rámu je velmi důležitá pro celkovou tuhost konstrukce motocyklu, jelikož rám je kostra celého motocyklu, která drží jednotlivé komponenty pohromadě. V případě že dojde k deformaci rámu, motocykl přestane být bezpečný pro provoz.

Pevnost rámu je dána materiálem použitým v rámu a tvarem konstrukce. Pro ověření dostatečné pevnosti rámu je potřeba rám zatížit dostatečně velkými silami, které působí na vhodných místech a v určitém směru. Síly působící na rám by měly odpovídat největším silám vyvolaným při provozu motocyklu. Tyto síly vznikají zejména brzděním a rozjížděním motocyklu, průjezdem motocyklu zatáčkou a přejížděním nerovností na vozovce, a jsou závislé na hmotnosti motocyklu a jezdce. Síly se přenášejí do rámu přes různé části motocyklu a je velmi složité určit, jak se postupně rozloží a jakým směrem budou v rámu působit.

Všechny tyto síly je možné nasimulovat v simulačních počítačových programech, které dokáží spočítat vnitřní napětí indukované v konstrukci rámu, a ukázat, kde přesně dochází k dosažení nejvyšších hodnot vnitřního napětí a tudíž hrozí deformace rámu. Pokud máme k dispozici kompletní model motocyklu, včetně materiálových vlastností jednotlivých prvků, můžeme zatížit pouze kola motocyklu, a simulační program provede výpočet přenesení síly na rám sám. Pokud máme k dispozici pouze model rámu, je nutné určit, jak se síly z kol přenesou na rám, v jakém poměru se rozloží na jednotlivé části rámu a v jakém směru budou na rám působit.

Ověření, zda je rám dostatečně pevný, můžeme provést tak, že porovnáme nejvyšší hodnoty napětí v materiálu s hodnotami napětí meze pružnosti a meze kluzu tohoto materiálu. Pokud napětí v materiálu nedosáhne meze pružnosti (dosáhne maximálně meze úměrnosti), pak můžeme říci, že rám je dostatečně pevný. Pokud napětí v materiálu přesáhne mez pružnosti, ale nedosáhne meze pevnosti, pak můžeme říci, že strukturálně rám zatížení vydrží, ale může

dojít k destabilizaci konstrukce kvůli plastickým deformacím v rámu, což znamená nevyhovující pevnost rámu. Pokud napětí v materiálu přesáhne hodnotu meze pevnosti, pak můžeme říci, že pevnost rámu není vyhovující. V případě, že známe průběh deformační křivky, můžeme tento průběh nadefinovat do programu, který nám přímo spočítá, jestli a případně kde dojde k deformacím či úplnému lomu konstrukce.

2.2 Zatížení motocyklu různými silami a zkoumání reakcí struktury motocyklu na tyto síly

Tato zkouška je zaměřena na zjištění tuhosti celé sestavy konstrukce motocyklu MotoStudent. Konstrukce motocyklu není nikdy zcela tuhá. Je to dáno pružnostními charakteristikami jednotlivých prvků motocyklu a upevněním jednotlivých prvků k sobě. Tato zkouška je velmi podobná předchozí zkoušce pevnosti rámu. Zde se ovšem zaměřujeme na celý model motocyklu a nikoliv pouze na rám.

Tuto zkoušku lze provést pomocí počítačových simulačních programů, podobně jako zkoušku pevnosti rámu motocyklu. Model motocyklu se zatíží různými danými silami působícími v určitých místech. Můžeme zde zkoumat znovu napětí v materiálu, nebo také posuny či vychýlení jednotlivých částí. Ve vyhodnocení záleží na velikosti sil, kterými jsme motocykl zatížili, a posunutí konstrukce motocyklu.

2.3 Zkouška únavy materiálu

Únava materiálu je postupná deformace materiálu způsobená dlouhodobým zatěžováním. Je závislá na počtu zatěžovacích cyklů a velikosti zatížení. V případě, kdy jednorázovým zatížením prvku nedojde k překročení meze pružnosti a pevnosti materiálu, může dojít k deformaci materiálu opakovaným zatěžováním prvku tímto zatížením.

Zkoušku únavy materiálu lze provést pomocí počítačových simulačních programů, kde je potřeba zadat specifický materiál a jeho vlastnosti. Dále definujeme vstupní napětí a počet opakovaných cyklů. Vzhledem k jednorázové povaze použití prototypu motocyklu MotoStudent, si nemyslím, že hrozí motocyklu z hlediska únavy materiálu velké nebezpečí, nicméně je tato zkouška povinnou součástí projektu soutěže MotoStudent.

2.4 Zkouška spojovacích prvků

Spojovací prvky jako svary, lepení či šrouby a nýty mají specifické vlastnosti oproti ostatním částem konstrukce. Zvláště tuhost těchto prvků je jiná než tuhost komponent, které tyto prvky spojují. Proto je potřeba zaměřit se na tyto prvky zvlášť.

2.4.1 Svary

Svarů je mnoho druhů (laserové, plasmové, elektrickým obloukem, plamenem), které se liší svými vlastnostmi. Obecně jsou svary používány pro spojení takových materiálů, které dokáží vydržet tepelné podmínky svařovacího procesu a dokáží se v tomto procesu spojit. Svary mají relativně velkou pevnost, která záleží na typu svaru a kvalitě svaru. Svařované materiály musí být buďto stejné, nebo musí mít alespoň velmi podobné vlastnosti. Na motocyklu najdeme svary využívané především ke spojení nosných kovových prvků, jako například rámu. Kvůli tomu, aby motocykly byly co nejvíce rozebíratelné a opravitelné, se svary využívají jen u konstrukčních prvků, u kterých je požadována velká pevnost spoje. Příklad svaru rámu motocyklu můžeme vidět na obrázku 9.



Obrázek 9 - Příklad svaru rámu motocyklu

Svary se dají zkoušet v počítačových simulačních programech, a to tak, že se musí zvlášť namodelovat oblast svaru přesně tak, jak vypadá po provedení svaru. Lze také nadefinovat přímo proces tepelného zpracování a chladnutí svaru. Poté můžeme konstrukci zatížit silami a zkoušet jestli napětí ve svaru nepřeroste určitou hodnotu.

2.4.2 Lepení

Lepení prvků se využívá většinou u prvků, které nepotřebují být velmi pevně spojeny, prvků, které jsou z velmi rozdílných materiálů, či u prvků, které nedokáží vydržet proces svařování. Lepení se u motocyklů příliš často nevyužívá, především kvůli nemožnosti zpětné demontáže a opravy motocyklu. Využívá se pouze u prvků jako jsou rukojeti (gripy), elektronika, světlomety či přístrojové desky. Na obrázku 10 můžeme vidět příklad spoje jednotlivých prvků přístrojové desky k přístrojové desce lepením.



Obrázek 10 - Příklad lepení jednotlivých prvků k přístrojové desce

Lepení lze zkusit pomocí počítačových simulačních programů, a to jednodušeji než svař. Lepení se nadefinuje jako spoj dvou prvků s tím, že se samotné lepení nemusí zvlášť modelovat, ale stačí pouze nadefinovat parametry spoje.

2.4.3 Šrouby a nýty

Spojení pomocí šroubů a nýtů mají velkou pevnost, a zároveň jsou zpětně rozmontovatelné (nýty destruktivně). Spojení šrouby a nýty jsou vhodná prakticky k jakýmkoliv typům prvků a k jakýmkoliv typům materiálu. Pevnost těchto spojení závisí zejména na typu šroubu či nýtu. Na motocyklu je můžeme najít na mnoha místech, jako například připevnění kapotáže ke konstrukci motocyklu. Na obrázku 11 můžeme vidět toto připojení kapotáže ke konstrukci.



Obrázek 11 - Příklad využití šroubů na motocyklu

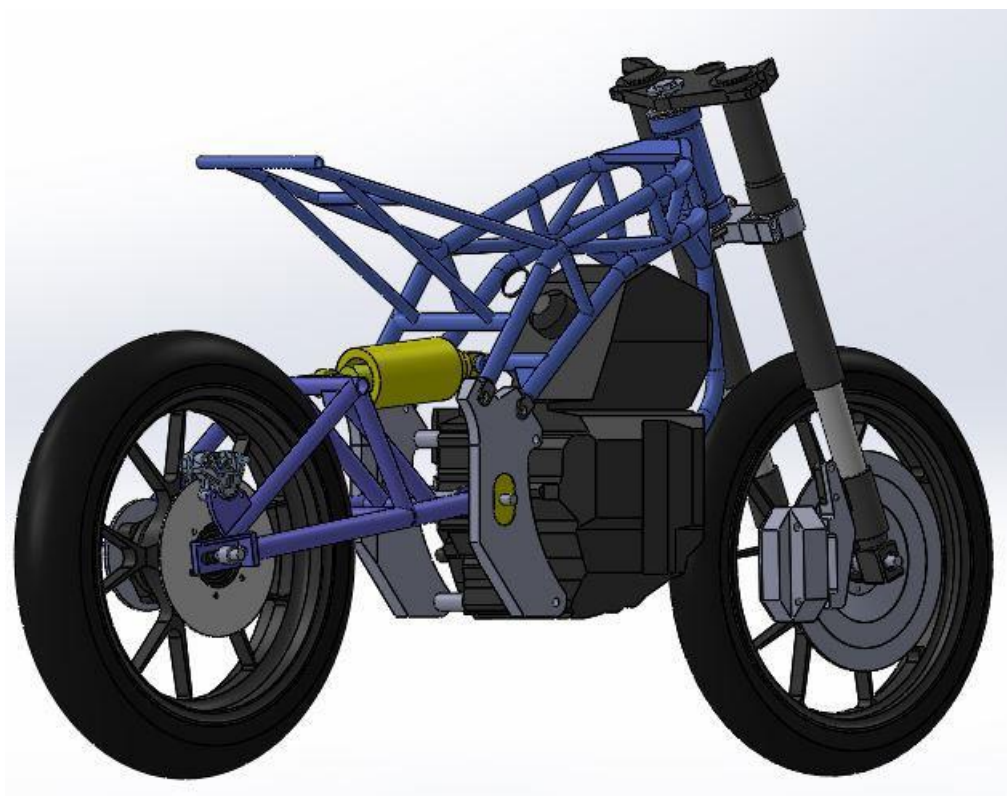
Šrouby se dají zkoušet pomocí počítačových simulačních programů s tím, že se musí stejně jako svary zvlášť namodelovat. Po přidání materiálových vlastností těmto prvkům fungují jako další části modelu a přenášejí síly bez potřeb dalšího definování parametrů.

3 Provedení pevnostní zkoušky rámu motocyklu MotoStudent

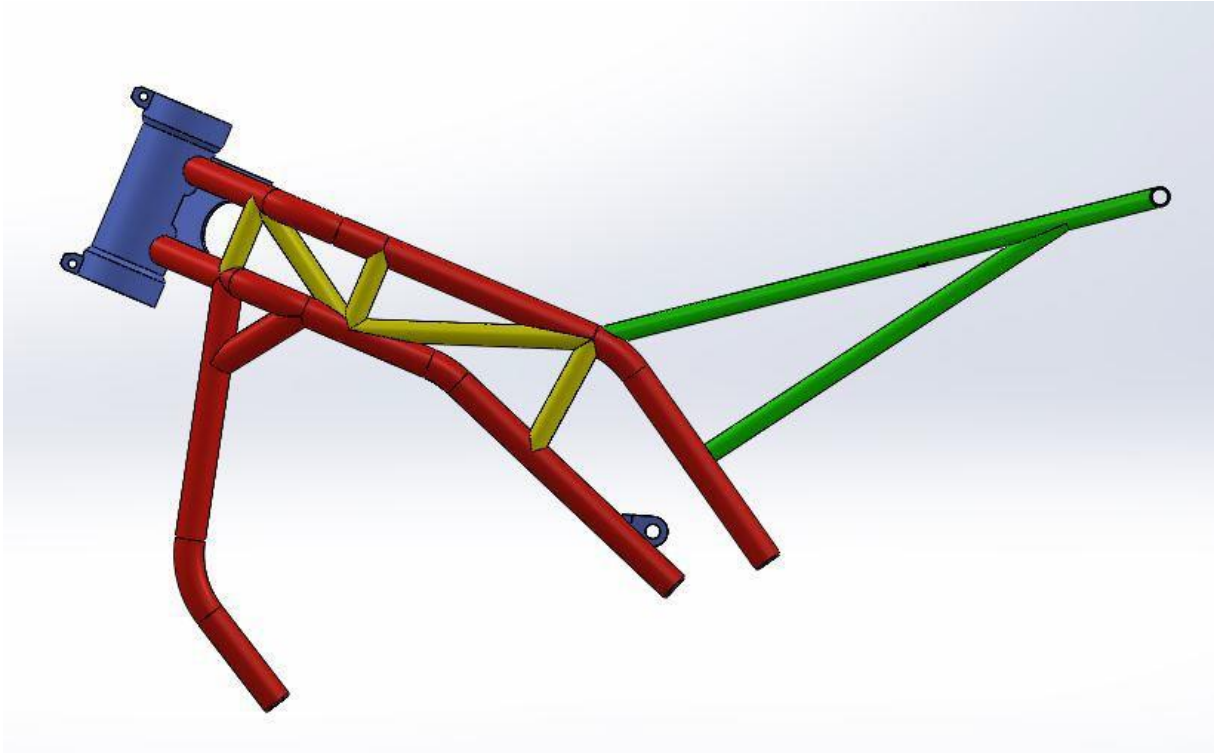
V rámci této práce jsem se zabýval především přípravou modelu rámu motocyklu týmu CTU Lions a simulací zkoušky jeho pevnosti. Tato zkouška by měla být součástí projektu soutěže MotoStudent, jak již bylo zmíněno dříve, a je také vhodná ke kontrole návrhu rámu motocyklu týmu CTU Lions z hlediska pevnosti. Bohužel není tato zkouška blíže specifikovaná v pravidlech soutěže MotoStudent, tudíž jsme si parametry této zkoušky určovali sami. [3]

3.1 Rám motocyklu

Celkový model motocyklu včetně rámu byl vytvořen Michalem Růžičkou v programu Solidworks. V rámci této práce jsem ho využil jako základ pro přípravu modelu k simulacím. Na obrázku 12 můžeme vidět celý model motocyklu CTU Lions, přičemž světle modrou barvou je znázorněn rám motocyklu. Na obrázku 13 můžeme vidět model rámu.



Obrázek 12 - Model motocyklu týmu CTU Lions



Obrázek 13 - Model rámu motocyklu týmu CTU Lions

Rám motocyklu je sestaven z ocelových trubek vyrobených z oceli ČSN 11523 a z hlavy řízení, která je vyrobena ze stejné oceli. Trubky jsou zohýbané do potřebného tvaru a trubky, které na sebe navazují, jsou k sobě připevněny svarem. Trubky jsou na hlavu řízení také připevněny svary. Model rámu obsahuje přesné geometrické rozměry reálného rámu.

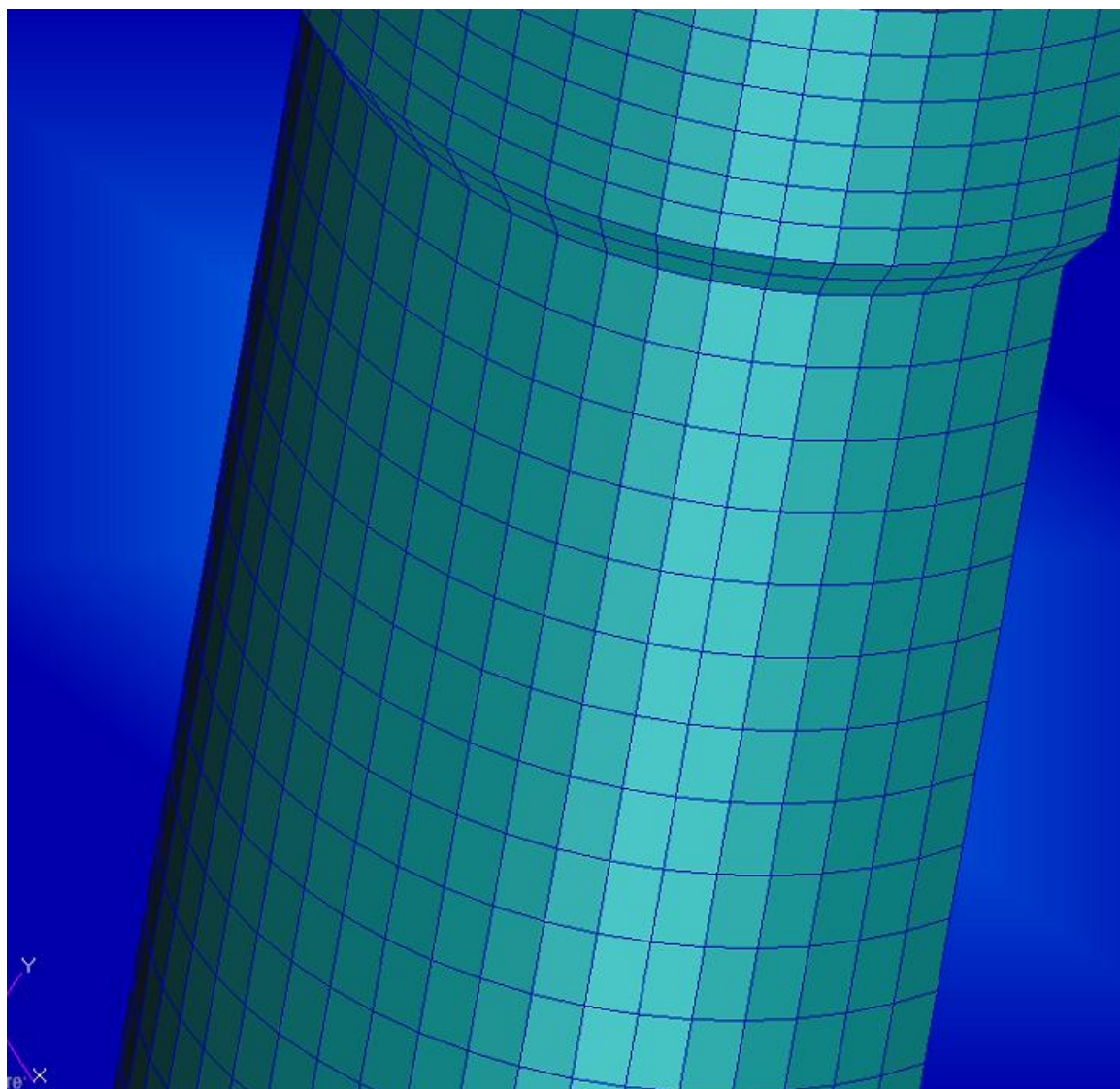
3.2 Příprava modelu rámu motocyklu

Simulace pevnosti rámu nelze udělat pouze na modelu rámu z programu Solidworks. Model se musí nejdříve upravit. K úpravě modelu jsem použil programy poskytnuté Fakultě dopravní ČVUT v Praze společností MSC Software Corporation. Konkrétní produkty společnosti MSC Software Corporation použité v rámci této práce jsou MSC Patran, MSC Apex a MSC Marc.

3.2.1 Síť (mesh)

Dříve než přejdeme k postupu úpravy modelu rámu motocyklu MotoStudent, je potřeba vysvětlit pojem mesh. Mesh je síť prvků, která nám umožňuje vykreslit složitější objekty, jako souhrn více jednodušších prvků. Síť může mít více tvarů, například trojúhelníková síť nám rozdělí určitý objekt na velký počet do sebe zapadajících trojúhelníků, přičemž se snaží co nejvíce odpovídat původnímu tvaru. Síťování nám umožňuje zjednodušit model tak, aby simulační programy nemuseli počítat s velkým množstvím prvků, přičemž zachováme celkový tvar původního objektu. Sítě jsou určeny svým tvarem a svou hustotou, a mohou být plošné a

prostorové. V tomto případě platí, že čím hustější síť je, tím více odpovídá původnímu tvaru a je podrobnější a přesnější. Hustější síťi ovšem vytvoříme větší počet prvků, se kterými musí simulační program počítat. Na obrázku 14 můžeme vidět příklad sítě v programu MSC Patran.



Obrázek 14 - Příklad sítě

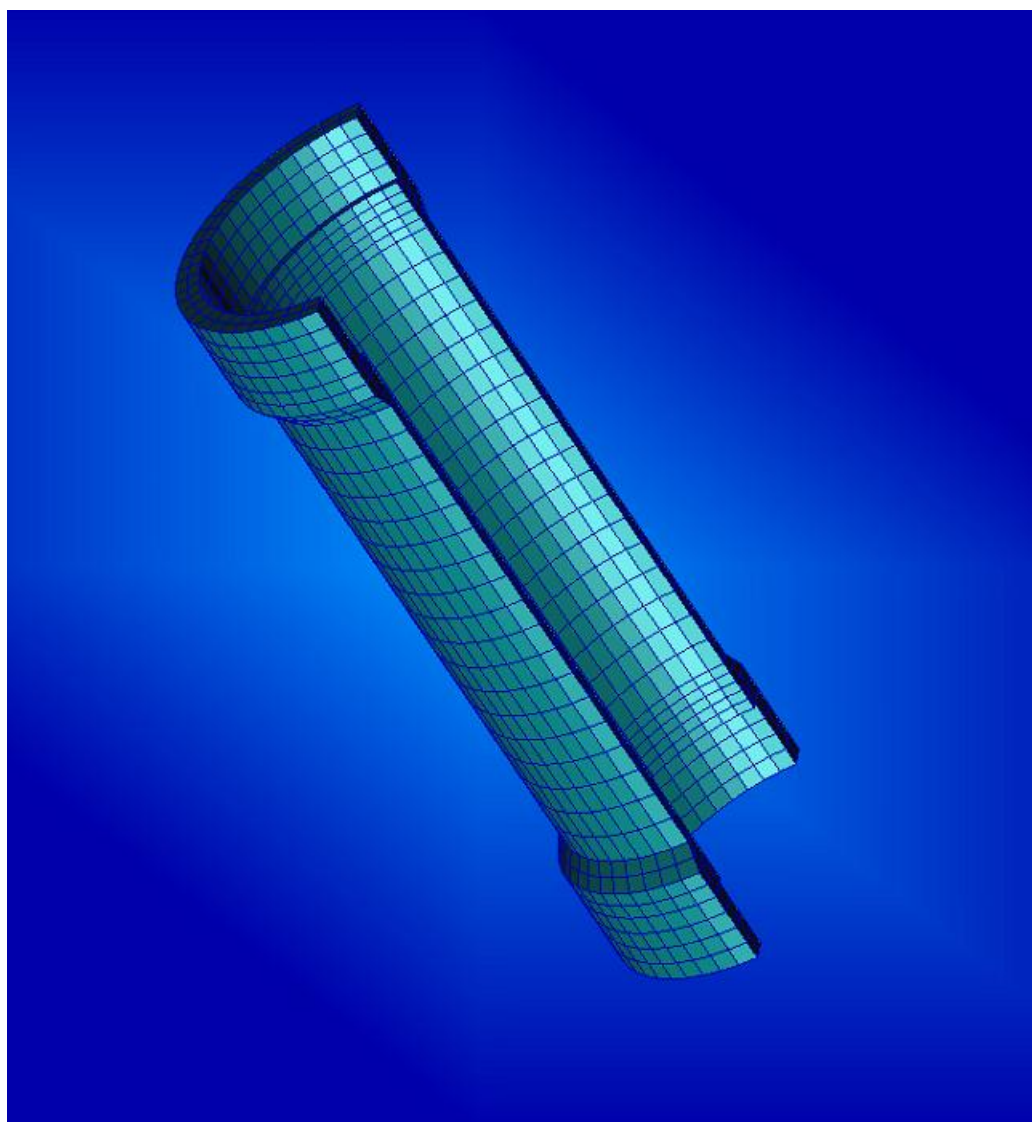
3.2.2 MSC Patran

Model rámu jsem exportoval z programu Solidworks ve formátu Parasolid, protože v jiných formátech bych tento model neotevřel v mnou použitých programech, zejména v programu MSC Apex. Model rámu je symetrický, takže mojí první úpravou bylo otevřít model v programu MSC Patran a rozdělit model na dvě symetrické poloviny. Dále jsem jednu polovinu rámu vymazal pro zmenšení počtu úprav. Následně jsem oddělil hlavu řízení od zbytku modelu. Přípravu zbytku modelu budu popisovat v následující kapitole zabývající se programem MSC

Apex. Hlavu řízení modelu jsem si připravil pouze v programu MSC Patran, a to z důvodu jiného typu sítě, který budu aplikovat na hlavu řízení a trubky rámu.

Z půlky hlavy řízení jsem následně odstranil úchytné prvky, které vyčnívají z hlavy řízení, kvůli jejich minimálnímu významu na tuhost rámu, a také kvůli jejich složitému tvaru a nepřesně definovanému spoji k hlavě řízení.

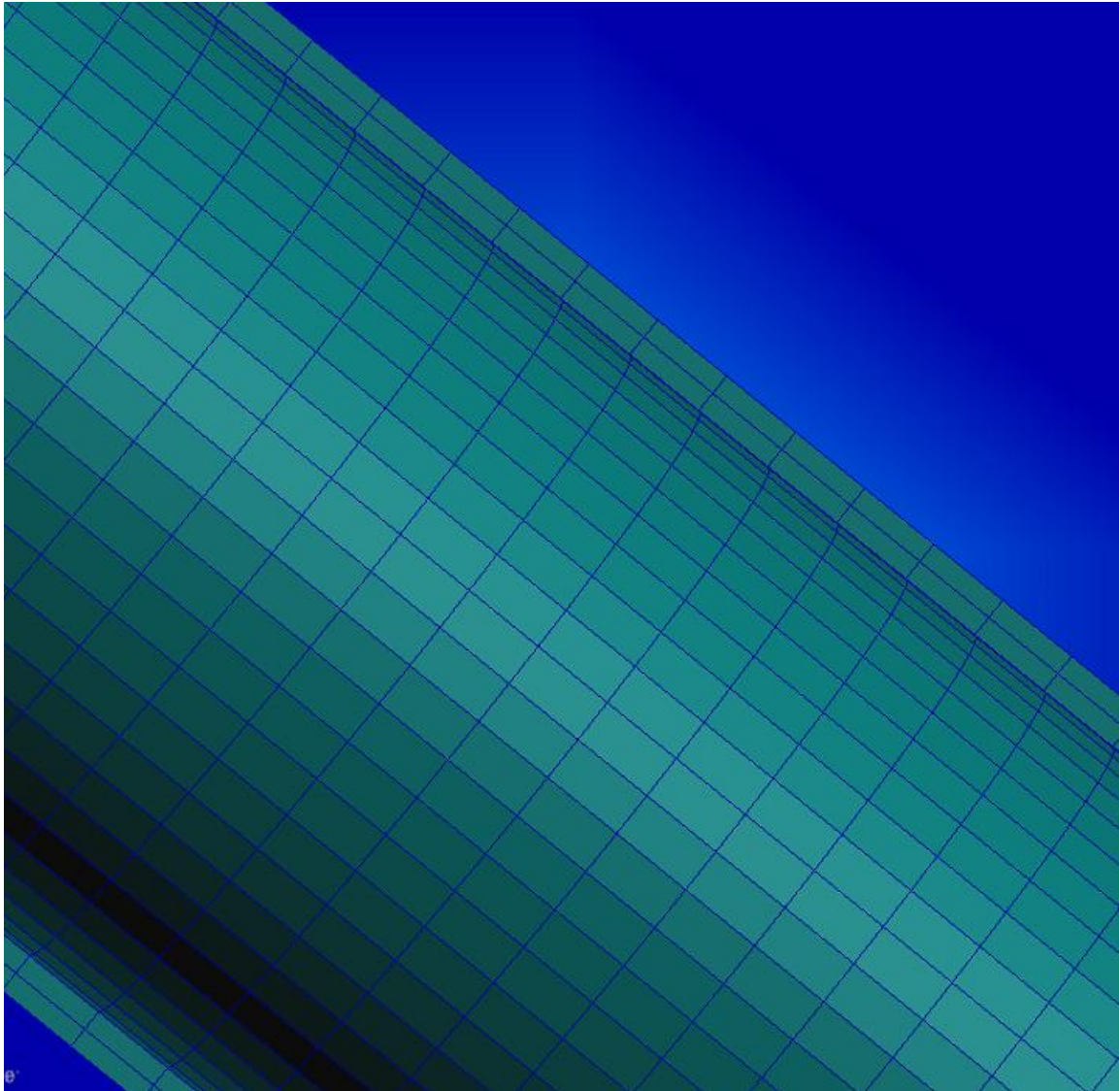
Na tuto upravenou hlavu řízení jsem aplikoval síť druhu hex mesh, což je prostorová síť přibližného tvaru kostky s 8 vrcholy. Nasíťovanou půlku hlavy řízení můžeme vidět na obrázku 15.



Obrázek 15 - Hlava řízení s aplikovanou sítí

Důvod, proč jsem vytvořil tuto síť pouze na modelu hlavy řízení a ne na zbytku rámu, je ten, že při použití těchto prostorových sítí se velmi špatně kontroluje, zda se síť vytvořila v průřezu prvku ve více vrstvách. Vícevrstevnost je důležitá z hlediska tuhosti prvku. Více vrstev mezi

sebou vzájemně působí a vytváří realističtější model. Zde jsem prostorovou síť mohl vytvořit díky snadné dostupnosti průřezu. V trubkové části modelu by se vícevrstevnost prováděla velmi složitě. V hlavě řízení jsem použil dvě vrstvy, které můžeme vidět v průřezu na obrázku 16.



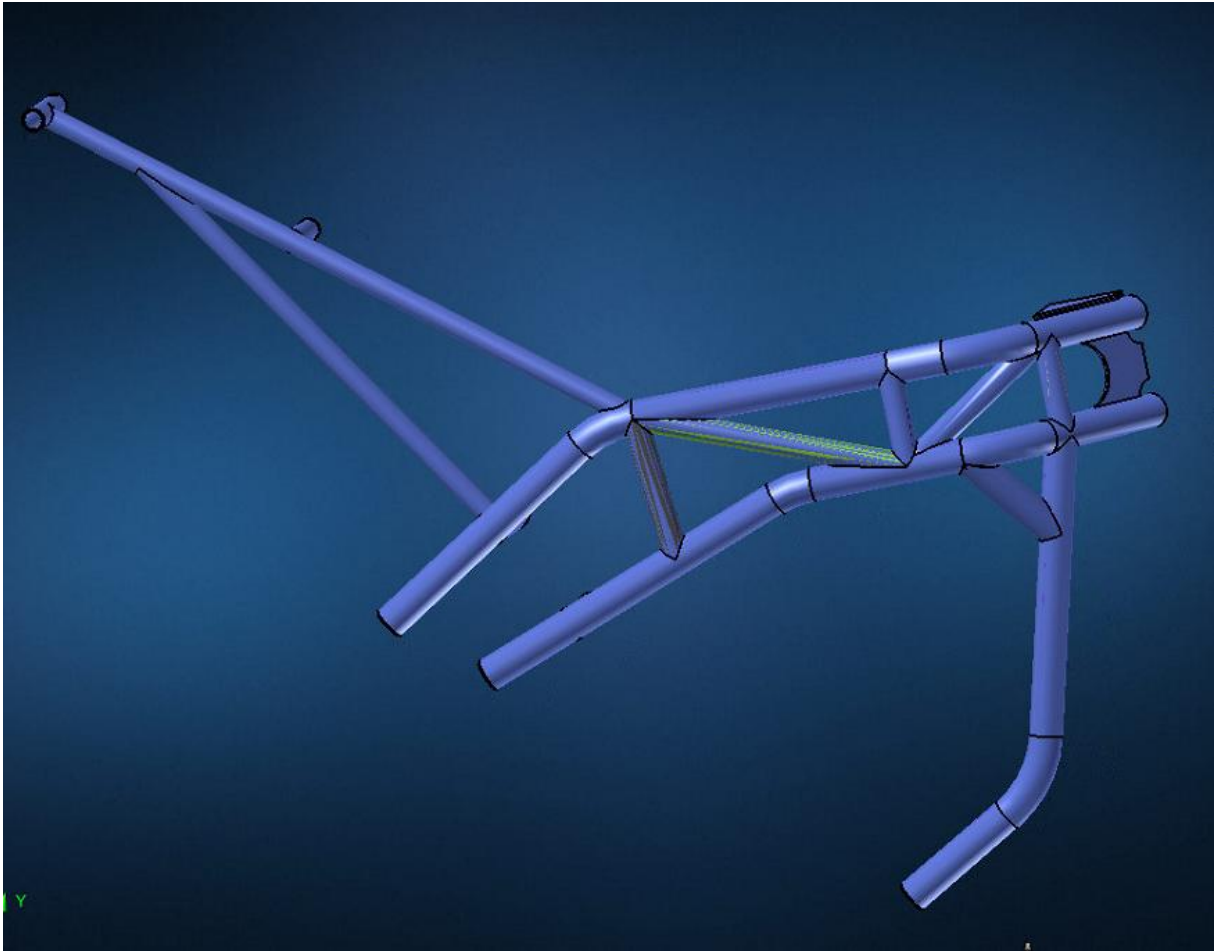
Obrázek 16 - Ukázka dvou vrstev sítě hlavy řízení

Tím máme přípravu hlavy řízení k simulacím hotovou a můžeme se zaměřit na přípravu zbytku modelu.

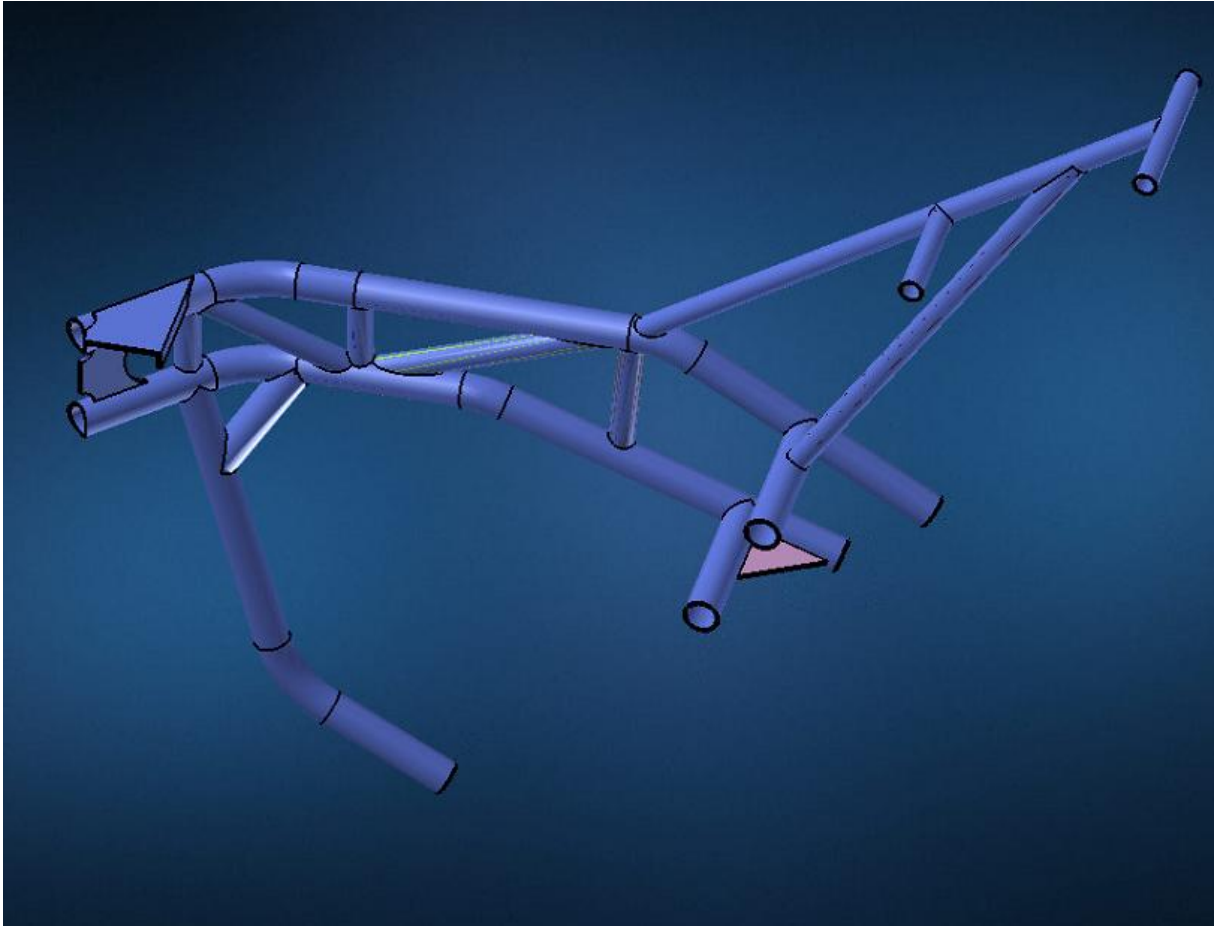
3.2.3 MSC Apex

MSC Apex je relativně nový program, který kombinuje více funkcí ostatních programů dohromady, čímž je ideální pro účely této práce. Verze programu, kterou jsem použil v této práci, je verze MSC Apex Diamond Python.

Do programu MSC Apex jsem importoval rozdělenou půlku rámu motocyklu bez hlavy řízení, kterou můžeme vidět na obrázku 17 a 18.



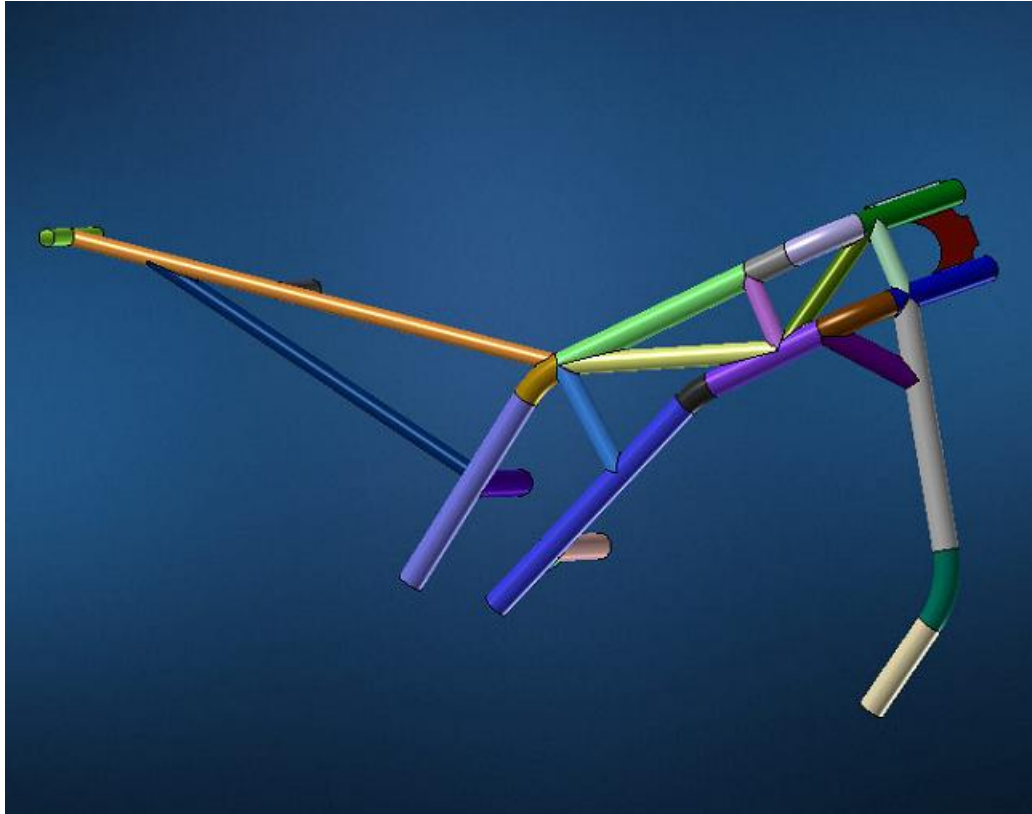
Obrázek 17 - Polovina rámu (pohled z přední strany)



Obrázek 18 - Polovina rámu (pohled ze zadní strany)

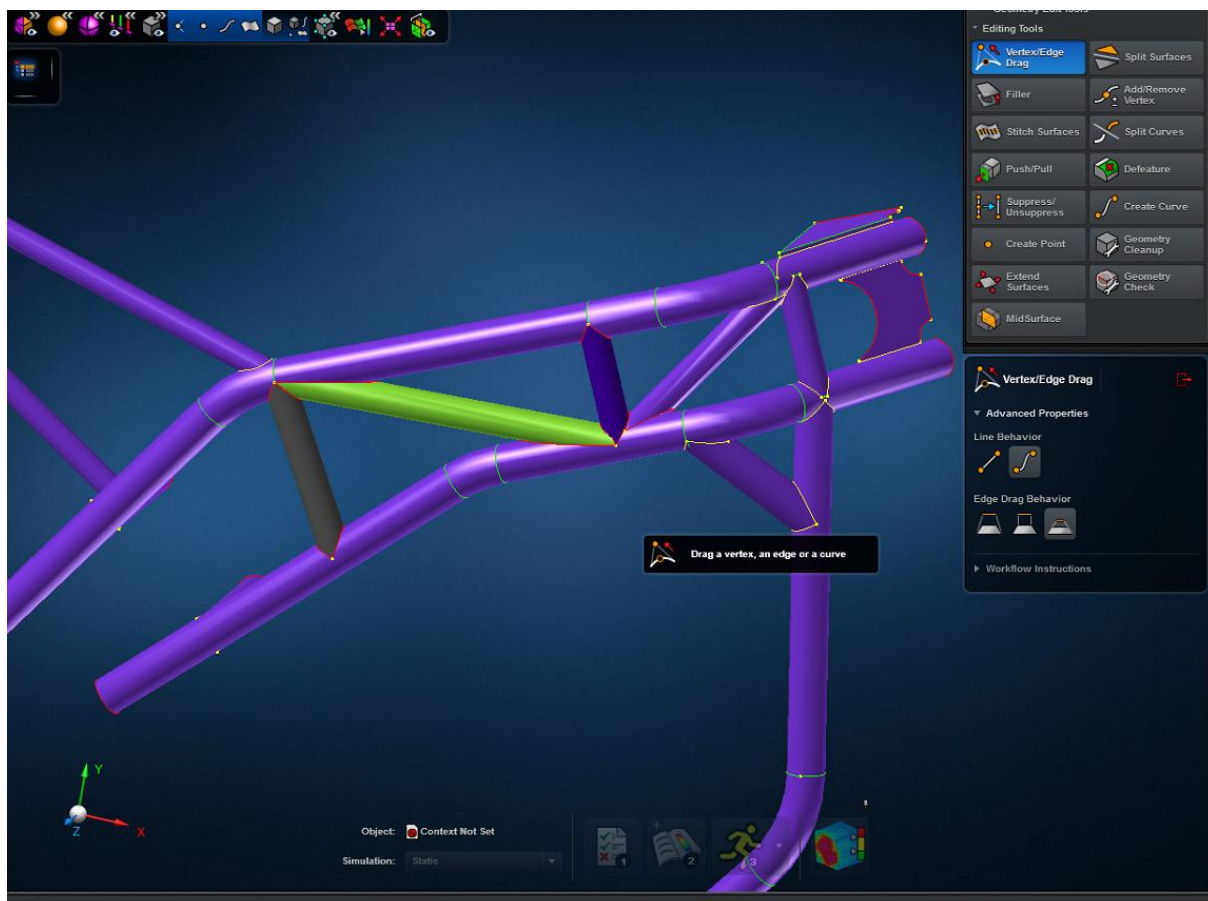
Pro vytvoření kvalitní sítě potřebujeme model přetvořit na model skládající se pouze ze skořepin (shells). Tyto skořepiny jsou pouze plošné, proto na nich můžeme vytvořit kvalitní plošnou síť. Tyto skořepiny nám vyřeší i předchozí problém vícevrstevnosti, jelikož těmto skořepinám lze přímo přiřadit jejich tloušťku, která funkčně nahradí více vrstev prostorové sítě. Modely skořepin vytvoříme pomocí střednicových ploch jednotlivých částí modelu.

Model rámu motocyklu CTU Lions je sestaven z oddělených částí, ovšem pro potřeby simulace potřebujeme celý rám pospojovat. Pro potřeby simulace jsem nemohl spojit jednotlivé komponenty spojem typu svar, který by odpovídal skutečnému spoji. Svar sice lze namodelovat v programu MSC Marc, ovšem pouze za předpokladu, že máme vymodelovaný přesný tvar svarů již v původním modelu. Model svarů jsem neměl k dispozici, proto jsem jednotlivé prvky pospojoval přímo na sebe tak, aby se chovaly jako jediný kus. Na obrázku 19 vidíme model vytvořený ze střednicových ploch, přičemž jednotlivé barvy symbolizují jednotlivé nespojené části modelu.



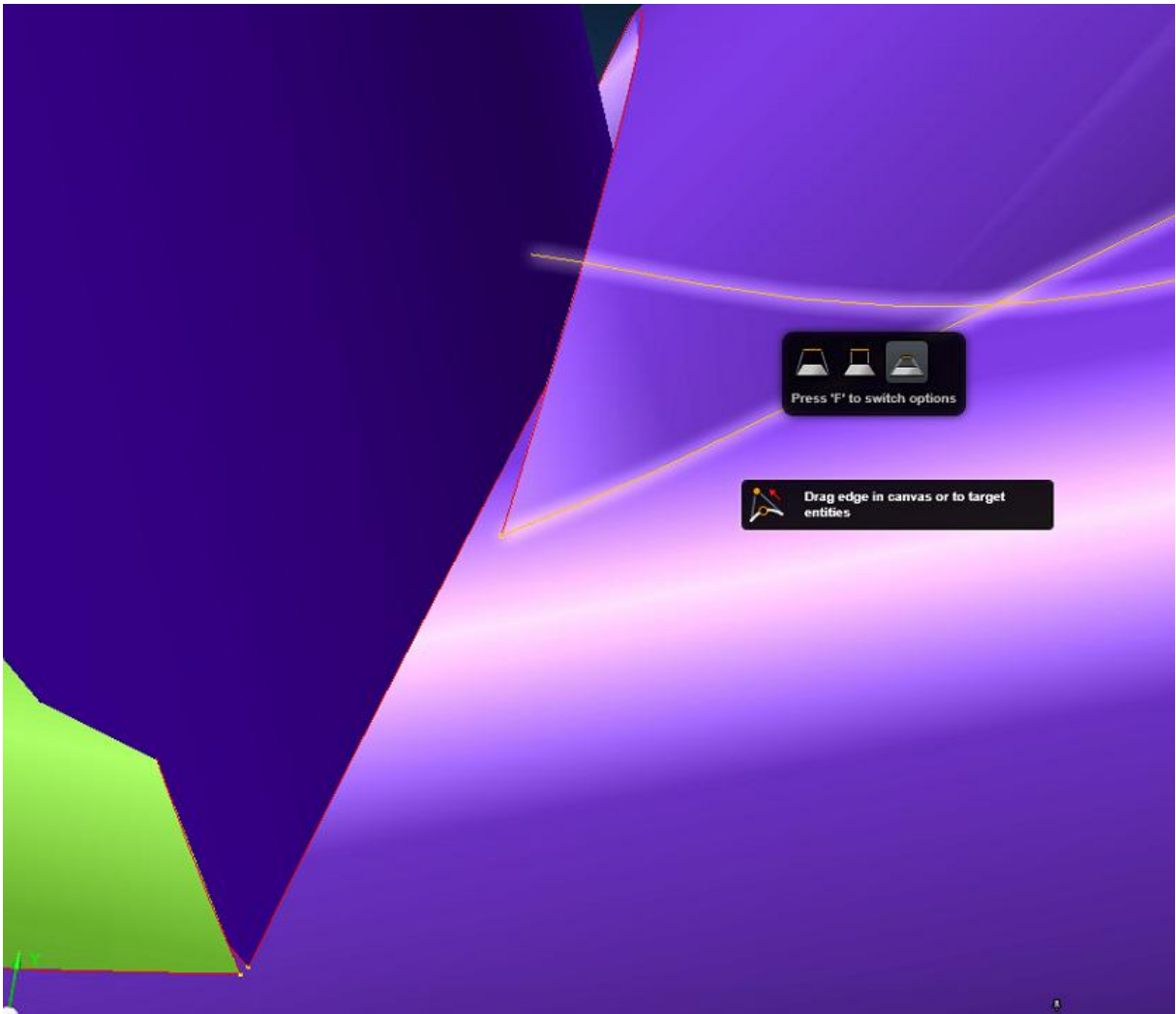
Obrázek 19 - Model rámu vytvořený ze střednicových ploch

MSC Apex umožňuje relativně jednoduše spojovat jednotlivé části k sobě pomocí jeho funkce Vertex/Edge Drag, která kombinuje více funkcí do jedné a umožňuje přímé spojení dvou prvků pouhým posunem myši. Na obrázku 20 můžeme vidět tuto funkci, která nám zobrazí hrany jednotlivých komponentů, přičemž červeně se zobrazí volné hrany a zeleně a žlutě hrany spojené. Na tomto obrázku také můžeme vidět barevné rozlišení spojených a nespojených komponentů, přičemž spojené komponenty jsou zobrazeny fialovou barvou.



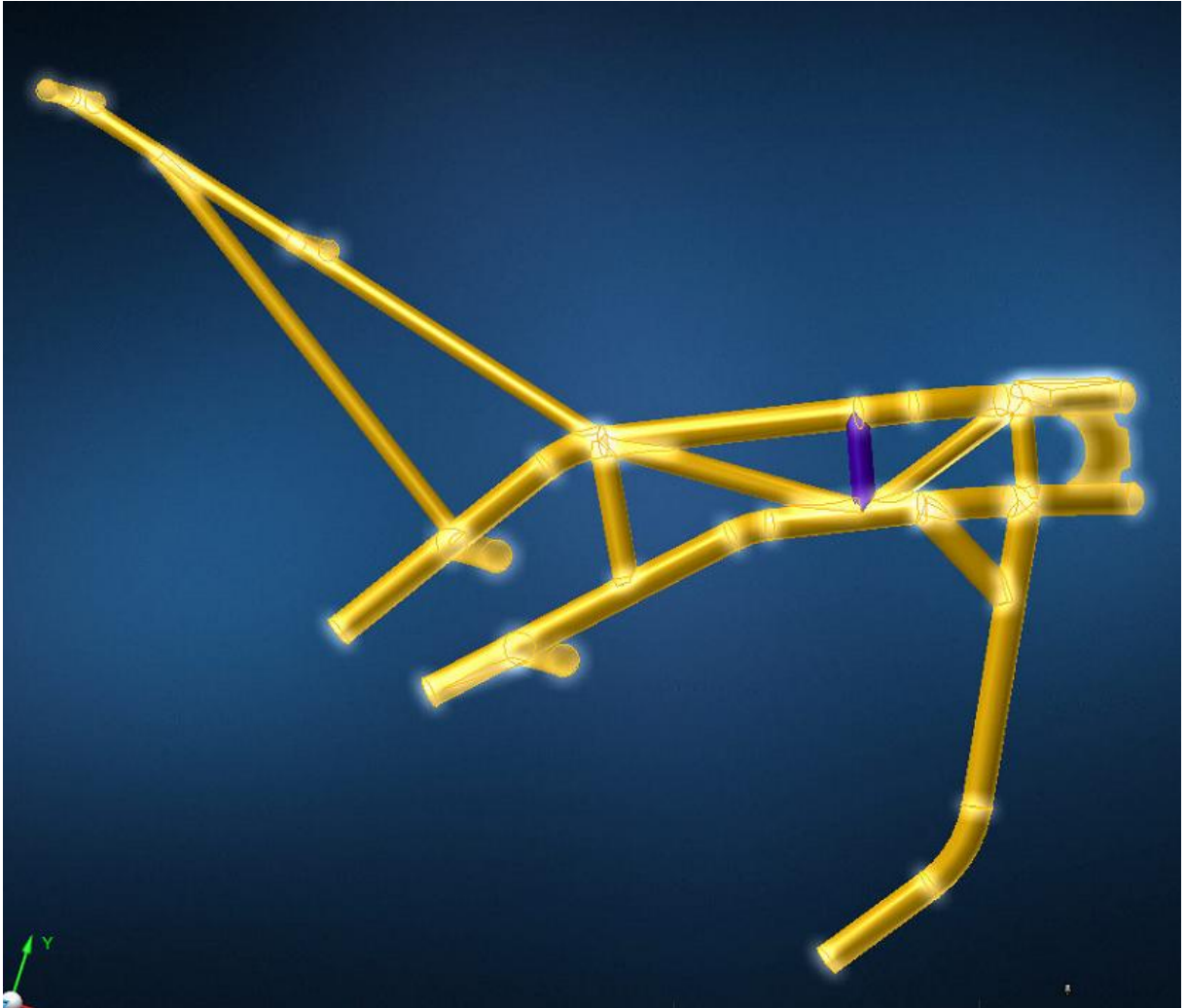
Obrázek 20 - Zobrazení funkce Vertex/Edge Drag

Použití této funkce není vždy zcela přesné a vyžaduje velmi podrobnou kontrolu. Ve spojích, ve kterých se spojuje více prvků najednou, může docházet k malým chybám, které by následně vytvářely chyby v síti. Na obrázku 21 vidíme detail spoje čtyř trubek. Na tomto obrázku také vidíme jednotlivé ikony možností použití dříve zmíněné funkce spojování.



Obrázek 21 - Přiblížení na spoj

Po důkladné kontrole jednotlivých spojů nám vznikne dokonale spojený model rámu motocyklu MotoStudent. Na obrázku 22 můžeme vidět pospojovaný rám s vyznačenými všemi spoji, přičemž k celkovému propojení rámu zbývá připojit prostřední trubku, která je na obrázku zvýrazněna fialovou barvou.



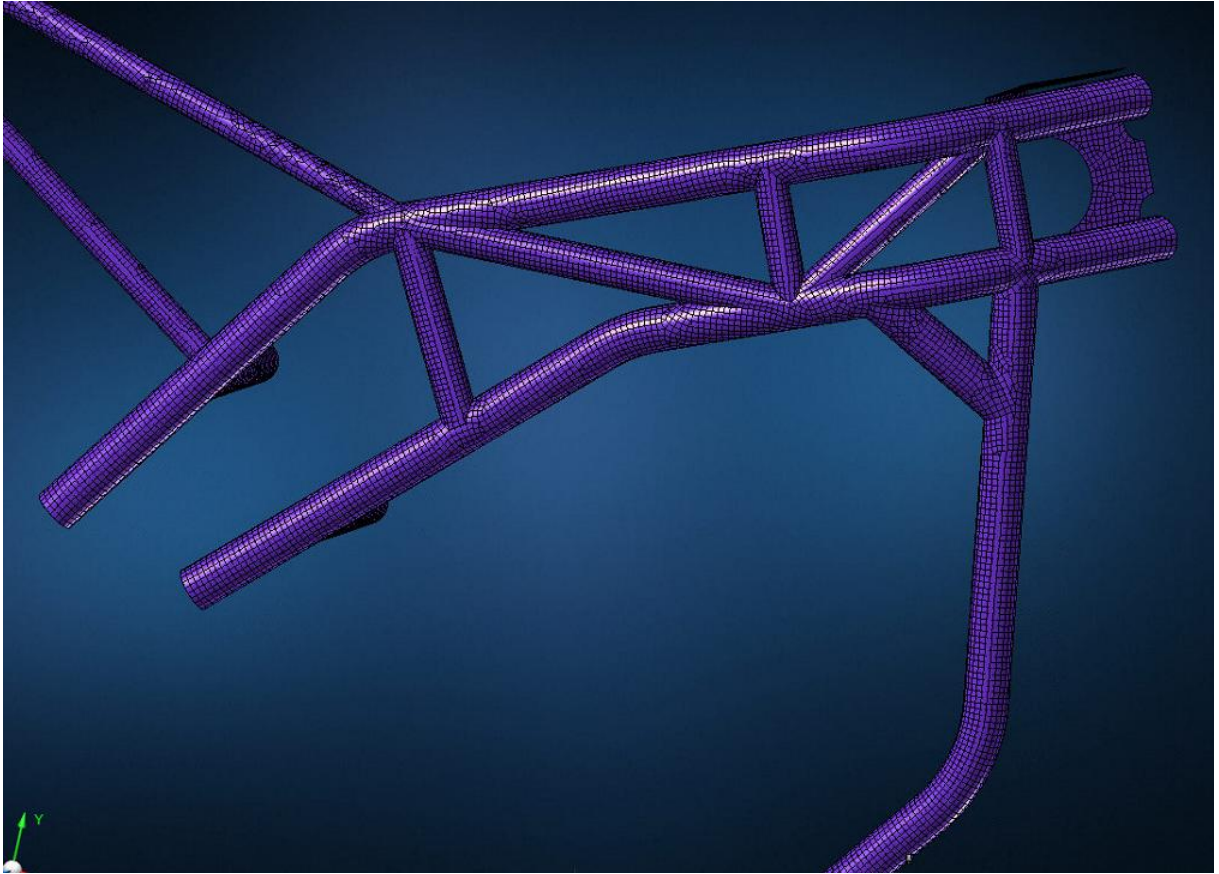
Obrázek 22 - Spojený rám s vyznačenými spoji

Jakmile máme pospojovaný celý model rámu motocyklu MotoStudent, můžeme přejít k vytváření sítě tohoto modelu. V programu MSC Apex jsem vytvořil plošnou síť, která je složena jak z trojúhelníkových tvarů, tak ze čtvercových. MSC Apex tuto síť dokáže vytvořit automaticky, síť se ale může vytvořit velmi pokroucená a může v ní docházet k chybám, což můžeme vidět na obrázku 23.



Obrázek 23 - Vzhled sítě po automatickém vytvoření

Kvůli chybám sítě a překroucení sítě je nutné vytvořenou síť upravit v programu MSC Apex. Tuto úpravu nelze provést zcela dokonale. Některá překroucení mohou i po úpravách přetrvávat, ale chyby sítě lze kompletně odstranit. Upravenou síť můžeme vidět na obrázku 24.

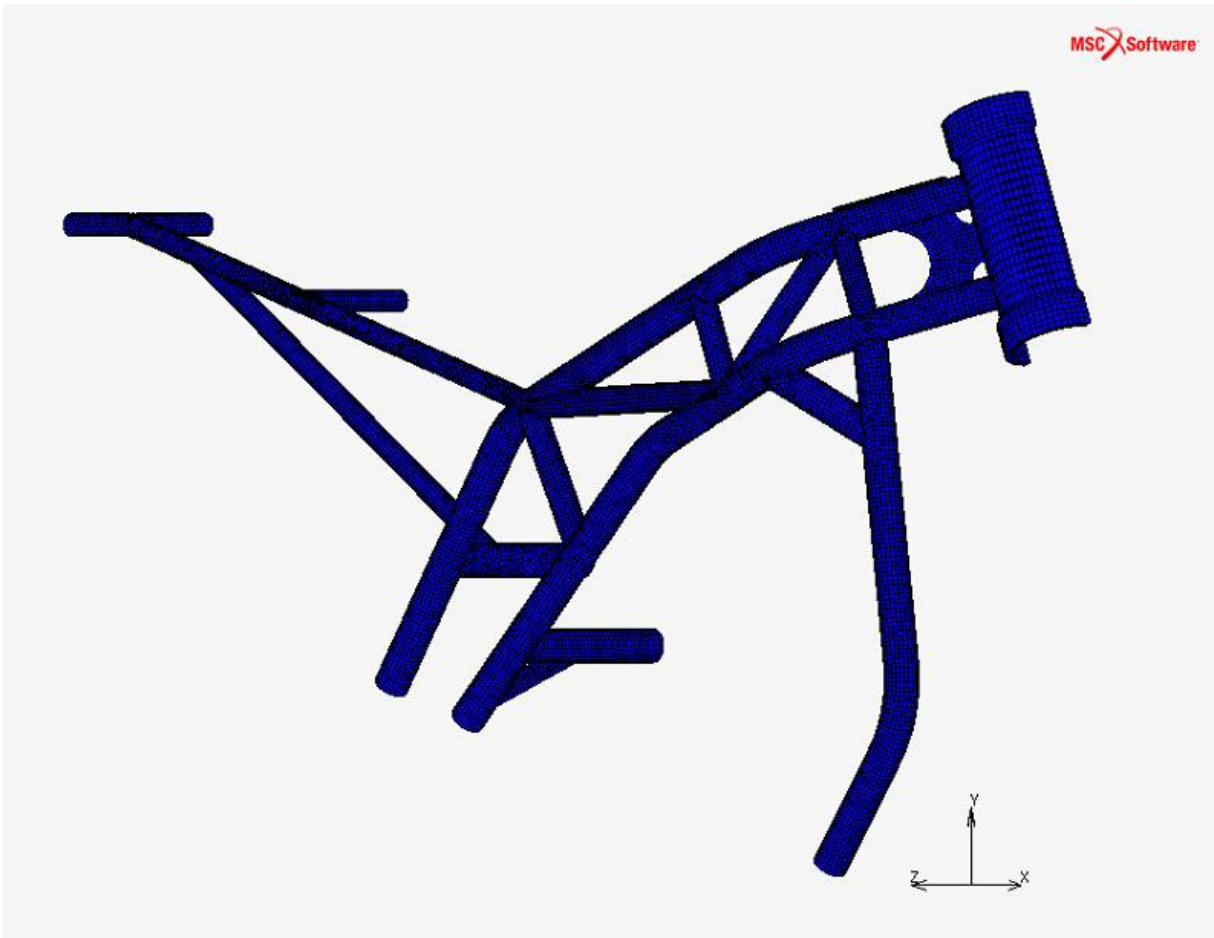


Obrázek 24 - Vzhled sítě po úpravě

Sít jsem upravoval do té doby, než byla její kvalita použitelná pro účely simulace. V programu MSC Apex dále nastavíme tloušťku jednotlivých komponentů. Tím máme tuto část rámu připravenou k simulacím.

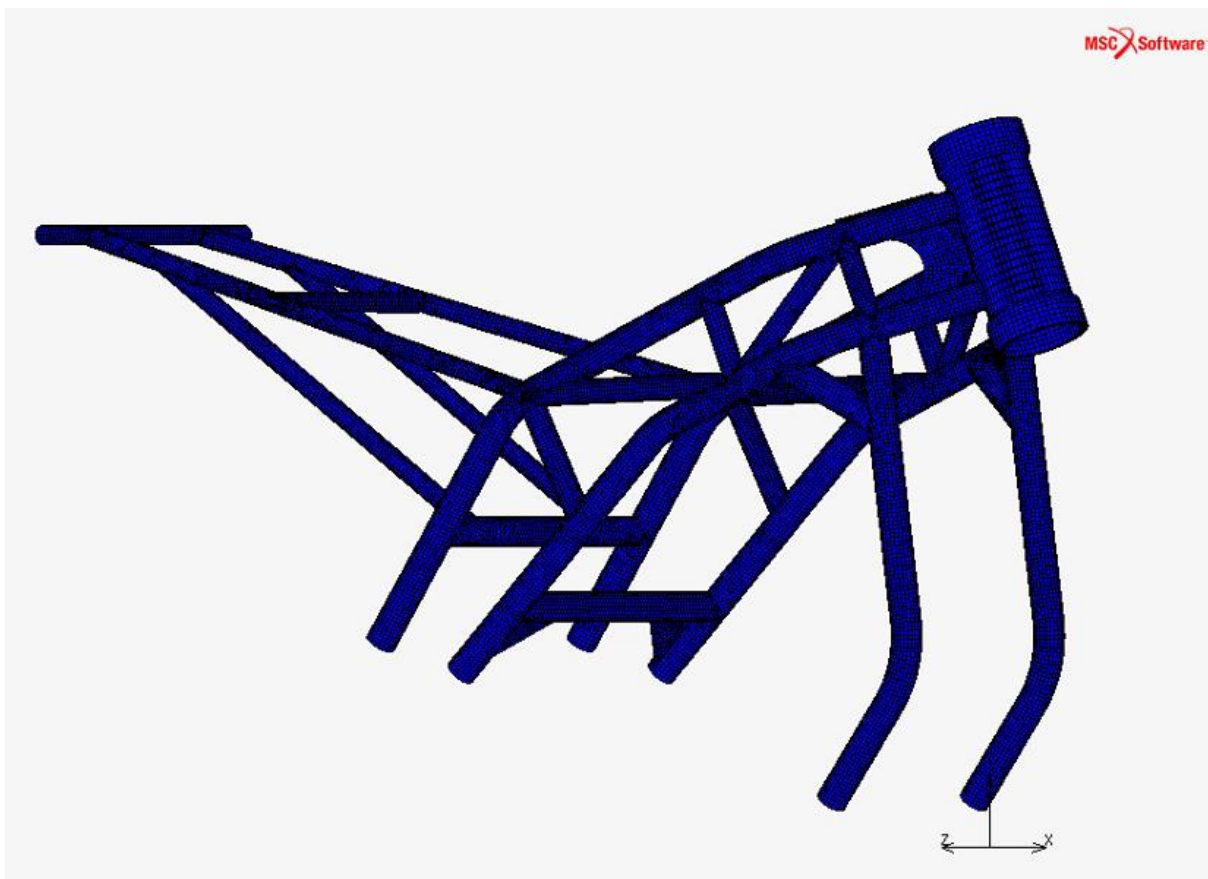
3.3 Zkouška pevnosti rámu motocyklu

Vlastní zkouška pevnosti rámu bude probíhat v programu MSC Marc, který je z dříve zmíněných programů nejlépe uzpůsoben na řešení naší problematiky. Do programu MSC Marc jsem importoval sítě dvou předpřipravených modelů: modelu hlavy řízení motocyklu a modelu zbytku rámu motocyklu. Oba modely by do sebe měly zapadat díky stejnému souřadnicovému systému modelů. Na obrázku 25 můžeme vidět tyto dva importované modely v programu MSC Marc.



Obrázek 25 - Oba připravené modely

Dosud jsem pracoval pouze s polovinou rámu. Abych pro potřeby simulace získal zpět kompletní rám, musím polovinu rámu ozrcadlit. Definoval jsem tedy středovou rovinu rámu a podle ní jsem rám ozrcadlil. Výsledný tvar rámu můžeme vidět na obrázku 26.



Obrázek 26 - Kompletní rám

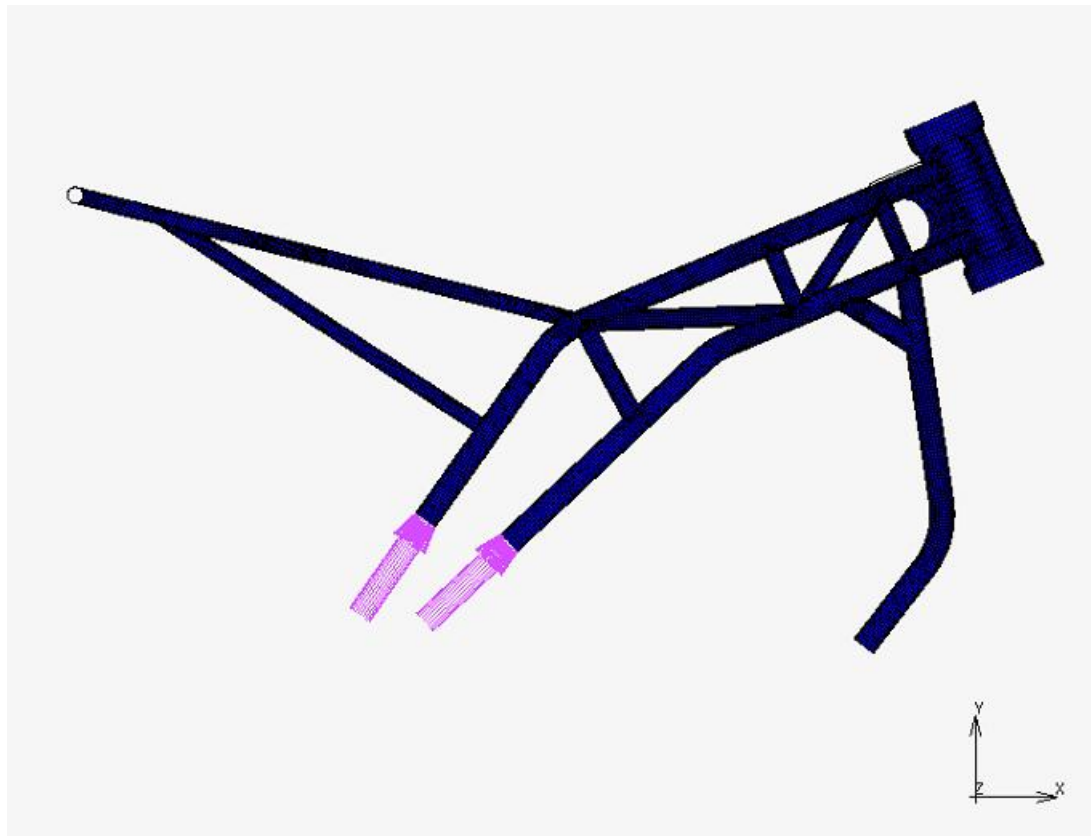
Když máme k dispozici kompletní rám, tak musíme spojit hlavu řízení ke zbytku rámu. Zbytek rámu jsme již pospojovali tak, aby se choval jako jednotné těleso, hlava rámu ovšem dosud není nijak připojena k zbytku rámu. Tento problém jsem vyřešil spojovací funkcí programu MSC Marc, která se jmenuje Glue. Tato funkce dokáže spojit různé prvky různých typů i různých typů sítí. Po vytvoření tohoto tuhého spoje máme model připravený na simulaci.

Před zatížením modelu je nutno komponentům dát určité materiálové vlastnosti, aby program měl základní data, se kterými může simulaci počítat. Tento model obsahuje komponenty z ocele ČSN 11523, proto můžeme materiálové vlastnosti nastavit takto: Youngův modul pružnosti na hodnotu 200 000 MPa a Poissonovu konstantu na hodnotu 0,3. Tyto dvě materiálové vlastnosti budou pro naše potřeby stačit.

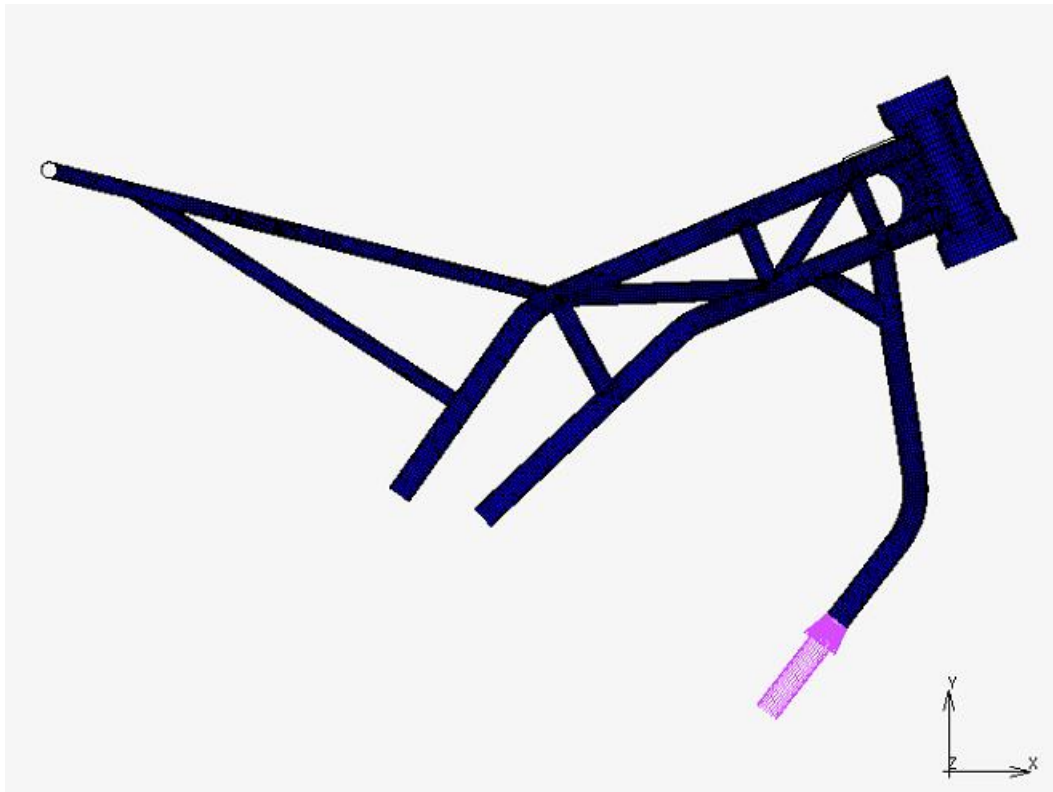
Následně musíme určit, jakými silami budeme rám zatěžovat, kde budou tyto síly působit a jakým směrem budou působit. Jak jsem již psal v rozboru statických zkoušek, rozbor přenosu sil z kol motocyklu na rám motocyklu není jednoduchá záležitost, pokud nemáme k dispozici kompletní model motocyklu.

Pro zjednodušení jsme stanovili, že síla vstupující do rámu ze zadního kola bude 4000 N, což symbolizuje největší sílu vyvolanou provozem motocyklu, a bude se přenášet na čtyři zadní

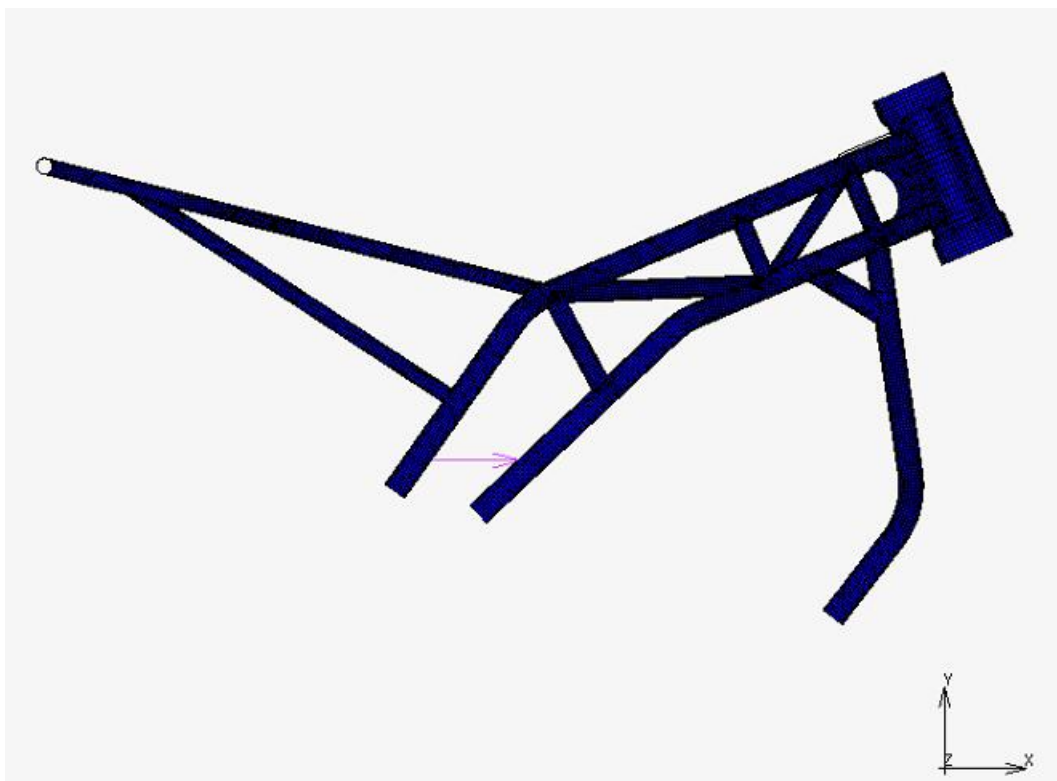
trubky rámu, na dvě spodní trubky rámu a také na střed střední spojovací trubky rámu, kam vede pružící jednotka, jak bylo možné vidět na obrázku 12 v kapitole 3.1. Tato síla se rozloží v následujícím poměru: 600 N na každou z šesti trubek a zbývajících 400 N na střed spojovací trubky. Směr působení těchto sil je ve směru trubek, kromě poslední síly na střed spojovací trubky, která působí v ose x. Všechny tyto síly můžeme vidět postupně na obrázcích 27,28, 29 a 30, přičemž směry sil jsou vyznačeny fialovou šipkou.



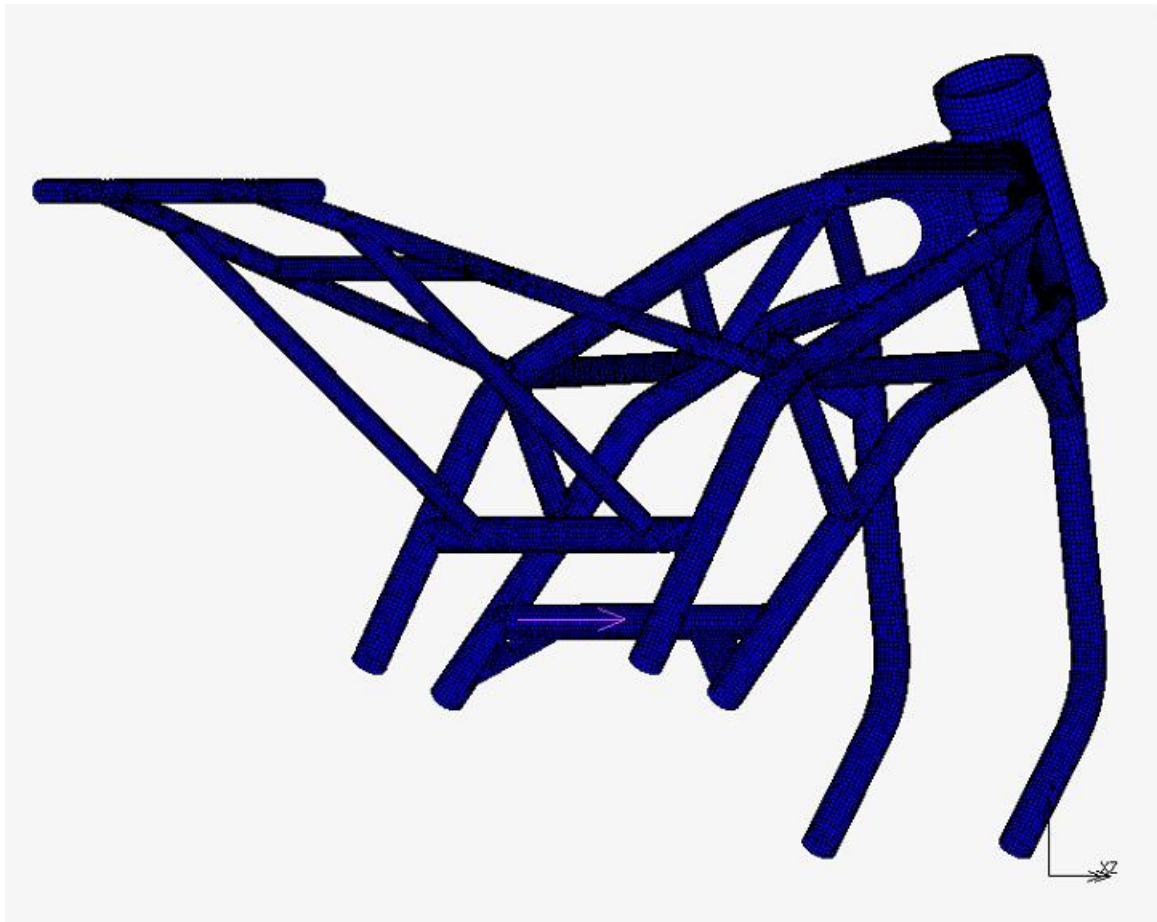
Obrázek 27 - Ukázka směru působení sil na zadní čtyři trubky



Obrázek 28 - Ukázka působení sil na spodní dvě trubky

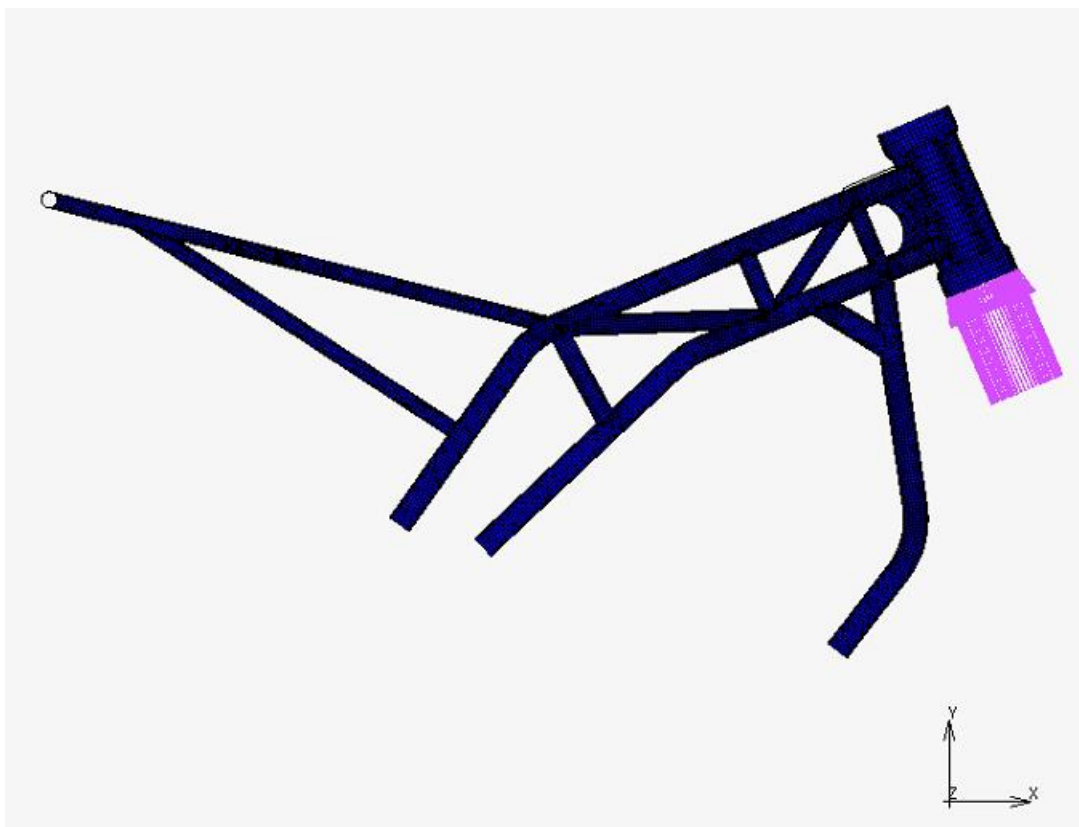


Obrázek 29 - Ukázka směru působení síly na spojovací trubku



Obrázek 30 - Ukázka směru působení síly na spojovací trubku z jiného úhlu

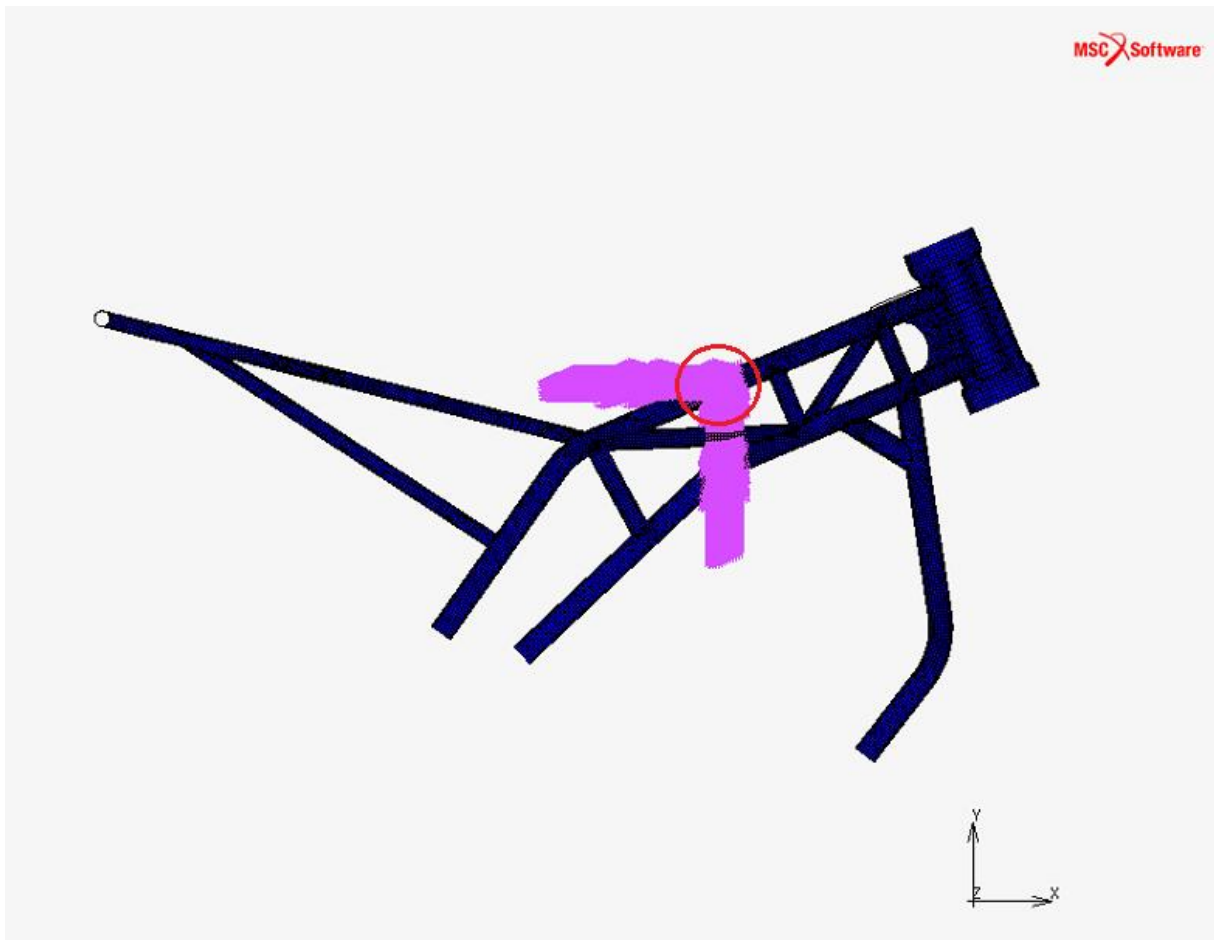
Z předního kola počítáme s největší silou vytvořenou při provozu motocyklu 1600 N. Zjednodušeně tuto sílu přivedeme na hlavu řízení motocyklu, a to na spodní okraj hlavy řízení ve směru kolmém na plochu hlavy řízení (průřeznou plochu). Tuto sílu můžeme vidět na obrázku 31.



Obrázek 31 - Ukázka směru působení síly na hlavu řízení

Všechny tyto síly jsou velmi zjednodušené. Momenty vyvolané v motocyklu silami z kol v této práci zanedbáváme a transformujeme je pouze na síly. Pro účely této práce jsou tyto síly dostačující.

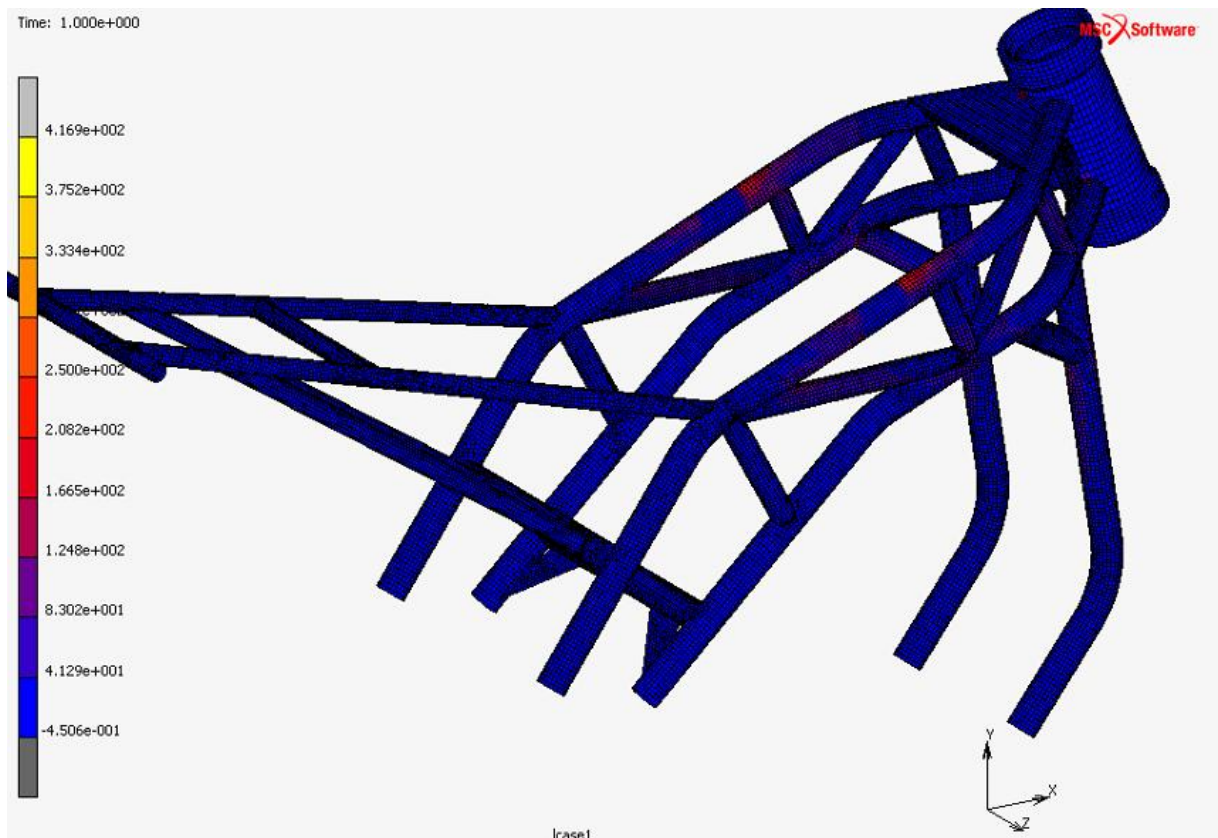
Po aplikaci zatížení rámu motocyklu musíme určit místo, kde rám ukotvíme v prostoru. Rám se nám během simulace nemůže pohybovat proto musíme určit místo, kde zabráníme posuvu a otočení rámu ve všech souřadnicových osách. Jelikož síly působící na rám se navzájem nevyruší tak, aby se rám nepohyboval, je nutné rám v určitém místě upevnit. Výběr tohoto místa má vliv na rozložení napětí v rámu. Při fyzických zkouškách motocyklu se motocykl upevňuje v těžišti, které se ovšem v tomto případě nachází mimo model rámu motocyklu. Pro účely této simulace jsem vybral místo, které můžeme vidět na obrázku 32. Toto místo je červeně zvýrazněno. Směřují k němu také fialové šipky. Model je symetrický, takže ukotvení rámu se nachází na dvou místech.



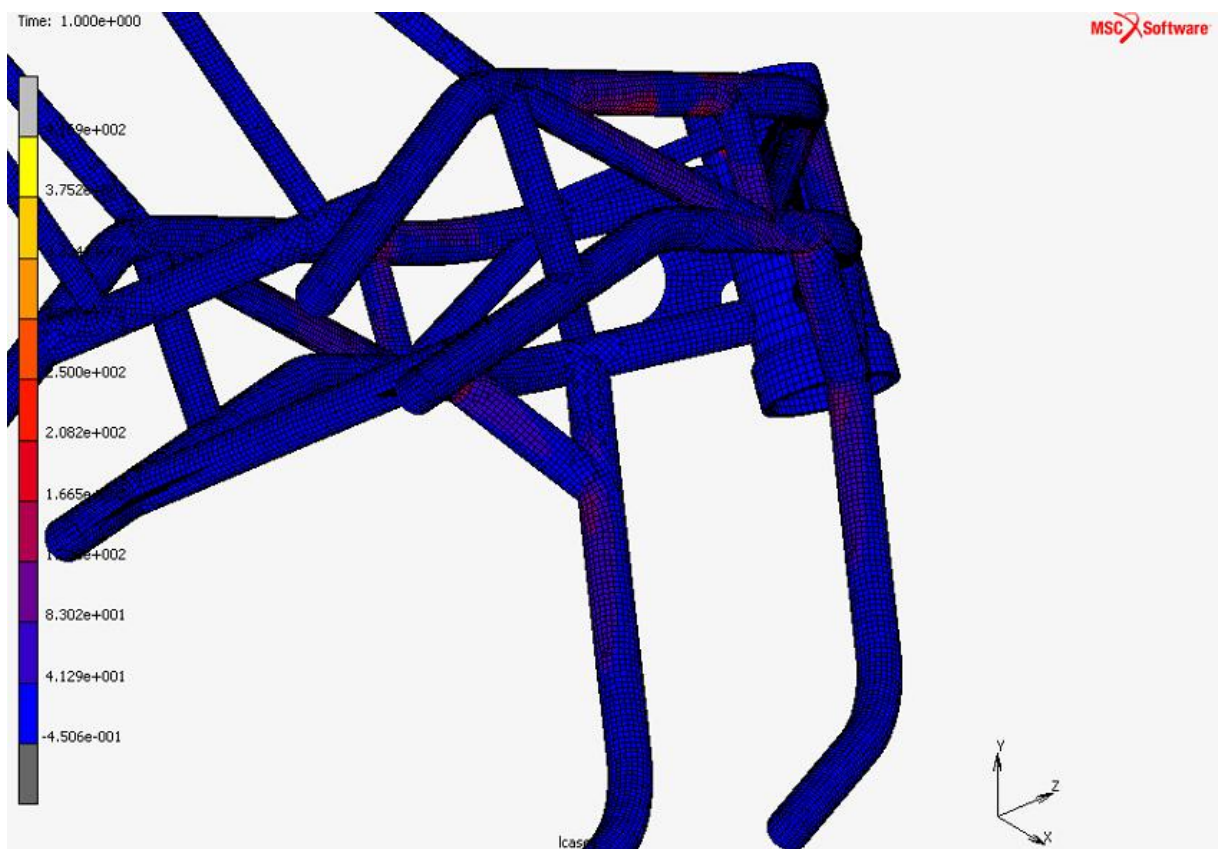
Obrázek 32 - Místo ukotvení rámu

3.3.1 Výsledky

Po zadání všech těchto údajů do programu MSC Marc může tento program vypočítat průběh napětí v jednotlivých částech rámu. Pro výpočet napětí v materiálu jsem zvolil metodu Von Mises, která by měla být nejpřesnější metodou pro výpočet napětí v kovových materiálech. Na obrázku 33 a 34 můžeme vidět model rámu s barevně označenými místy různých velikostí napětí. Na levé straně obrázku 33 můžeme vidět stupnici napětí. Jednotky napětí jsou MPa.

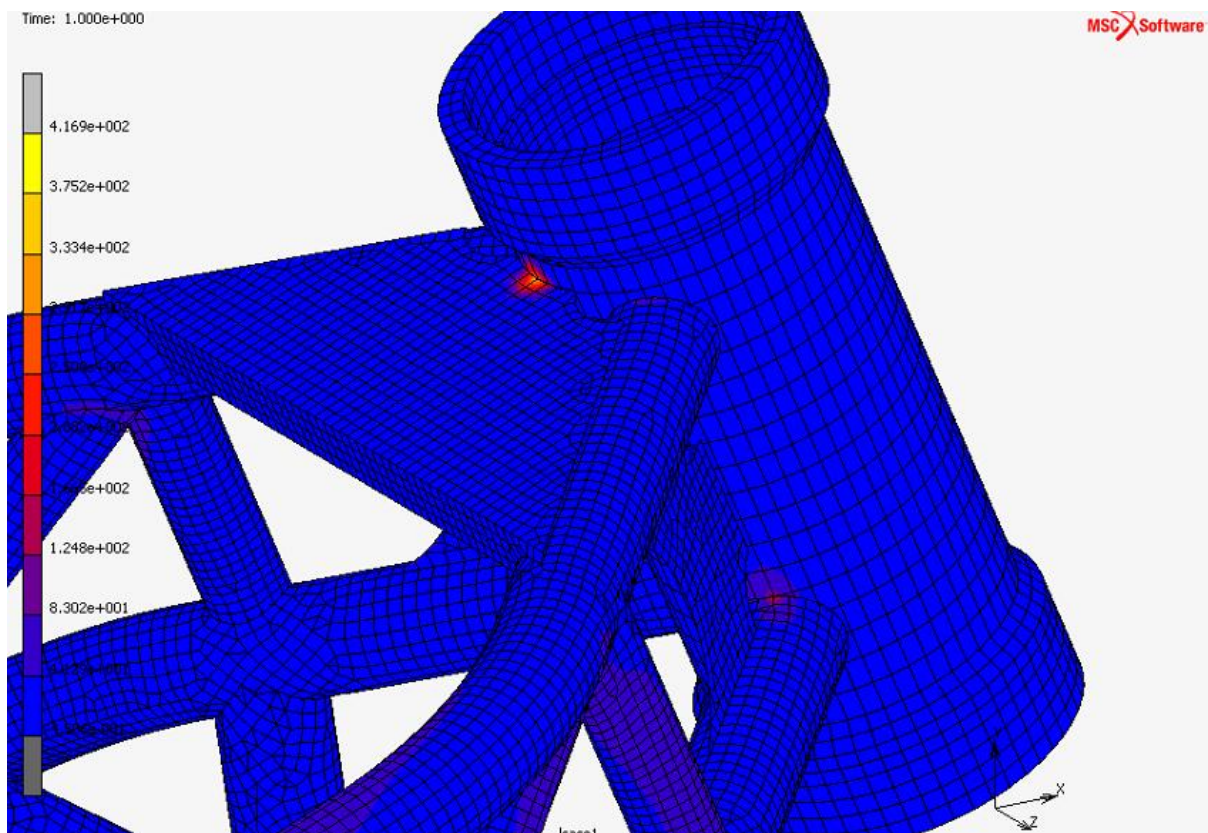


Obrázek 33 - Průběh napětí modelem rámu (pohled svrchu)



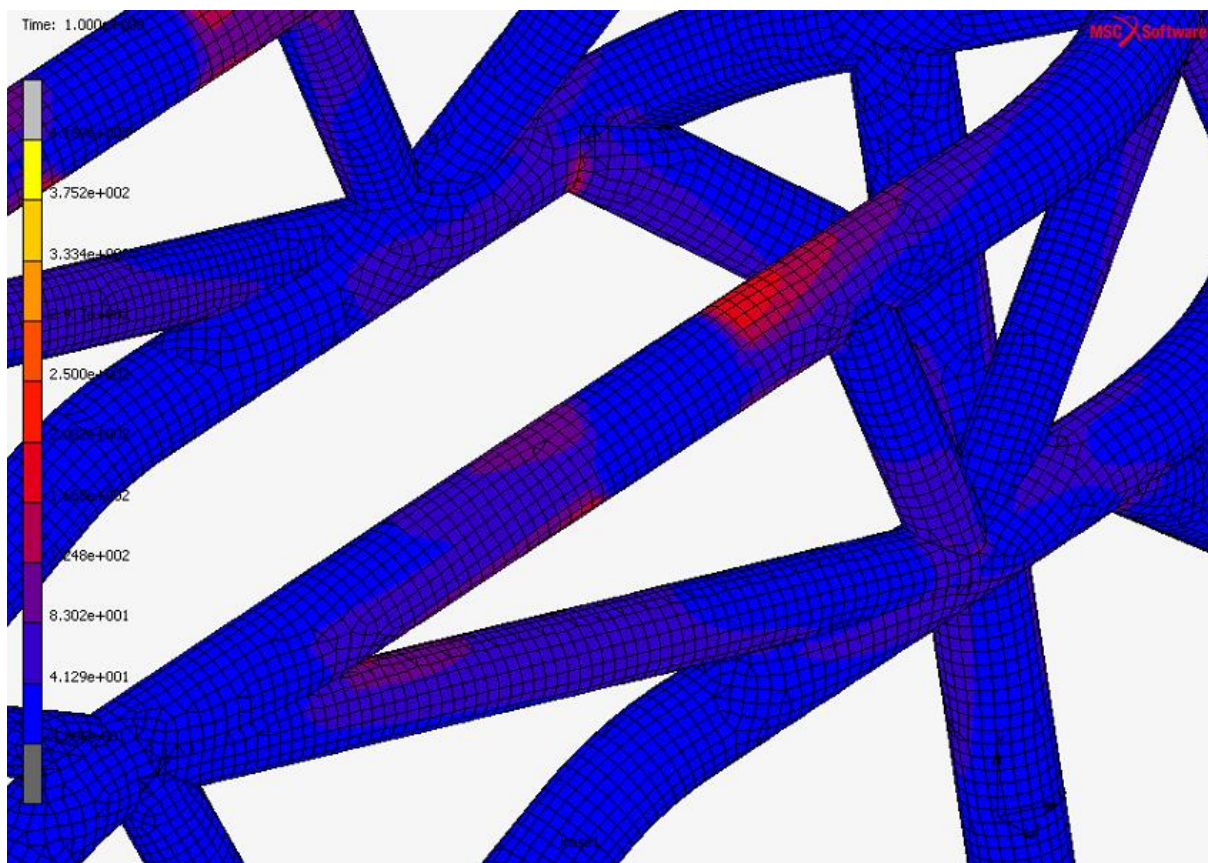
Obrázek 34 - Průběh napětí modelem rámu (pohled zespodu)

Největší hodnota napětí, která se vyskytla v modelu je hodnota 416,9 MPa, tato hodnota se ovšem vyskytla pouze v jednom místě, a je nejspíše následkem chyby v modelu. Toto místo můžeme vidět na obrázku 35. Toto napětí nebudeme používat pro účely této práce.



Obrázek 35 - Místo největšího napětí

Druhé největší napětí v modelu se nachází v blízkosti místa ukotvení modelu. Ukotvení modelu se nachází na dvou místech, proto i místa s největším napětím jsou dvě. Místo můžeme podrobněji vidět na obrázku 36. V tomto místě bylo naměřeno napětí 250 MPa. Toto napětí budeme používat jako nejvyšší napětí vytvořené v rámu.



Obrázek 36 - Místo s druhým největším napětím

Pokud máme spočítanou nejvyšší hodnotu napětí, můžeme jí dále porovnat s mezí pružnosti, mezí kluzu a mezí pevnosti materiálu, z kterého se model skládá. Tyto materiálové charakteristiky ovšem nezávisí pouze na prvkovém složení materiálu, které nám udává číslo materiálu, ale také na postupu výroby materiálu, zejména na tepelném zpracování. Pro přesné hodnoty napětí těchto charakteristik bychom museli provést zkoušku tohoto materiálu. Nicméně určité přibližné hranice rozmezí hodnot napětí těchto charakteristik pro tento materiál existují. Hodnoty napětí meze pružnosti nejsou volně k dispozici, ale hodnoty meze kluzu a meze pevnosti ano. Pro mez kluzu máme rozmezí 335 MPa až 355 MPa a pro mez pevnosti 510 MPa až 680 MPa. V porovnání nejvyššího vytvořeného napětí v rámu s tímto rozsahem hodnot, můžeme usoudit, že pevnost rámu by měla být dostačující. [4] [5]

Závěr

Cílem této práce bylo informovat čtenáře o soutěži MotoStudent, zejména pak její části statických zkoušek motocyklu MotoStudent. Práce obsahuje výstižný souhrn pravidel soutěže a průběhu soutěže MotoStudent. Sekce počítačových simulačních dynamických a statických zkoušek obsahuje také možné postupy řešení těchto zkoušek a přínosy těchto zkoušek.

Dalším cílem této práce bylo vyzkoušet rám motocyklu vyvíjený týmem CTU Lions v rámci ČVUT dle požadovaných zkoušek. V pravidlech soutěže ovšem tyto zkoušky blíže specifikované nejsou. Proto bylo nutno navrhnout parametry zkoušky pevnosti rámu motocyklu MotoStudent. Tato práce se snaží o co nejrealističtější provedení zkoušky pevnosti rámu v rámci daných možností. Silové působení na rám je velmi zjednodušeno, kvůli nemožnosti určení průchodu sil celou konstrukcí motocyklu MotoStudent.

Po provedení simulace zatížení rámu jsme získali nejvyšší hodnotu napětí, které se v rámu po zatížení vytvořilo. Abychom dokončili zkoušku pevnosti rámu, potřebujeme tuto hodnotu napětí porovnat s mezí pružnosti, mezí kluzu a mezí pevnosti materiálu tohoto rámu. Tyto materiálové vlastnosti ovšem závisí na více faktorech, a proto bylo možné získat pouze přibližné rozmezí hodnot napětí těchto charakteristik. Nicméně jsme porovnali nejvyšší hodnotu napětí vytvořeného v rámu motocyklu s tímto rozmezím, a můžeme konstatovat, že napětí nepřekročí nejspodnější hranici napětí meze kluzu. Dále můžeme říci, že rozdíl nejspodnější hranice meze kluzu a napětí vytvořeného v rámu motocyklu je tak velký, že by měl obsáhnout i hranici meze pružnosti s relativně velkou rezervou. Na základě tohoto lze říci, že rám navržený týmem CTU Lions v rámci soutěže MotoStudent dle této zkoušky pevnostně vyhovuje.

V této práci jsem používal model motocyklu MotoStudent týmu CTU Lions vytvořený Michalem Růžičkou. Dále jsem k úpravě modelu využíval produkty společnosti MSC Software Corporation a to programy MSC Patran, MSC Apex a MSC Marc. Licence těchto programů byly poskytnuty společností MSC Software Corporation Fakultě dopravní ČVUT v Praze pro projekt MotoStudent.

Tato práce může být základem pro diplomovou práci, v rámci které by se vyřešily jednotlivé nedostatky této práce. Mohla by se hlouběji zabývat vytvořením kompletního modelu motocyklu, který by dokázal přenášet síly v rámci celé konstrukce motocyklu. Dále by se mohla zabývat zkouškami jednotlivých materiálů, ze kterých se motocykl skládá, kvůli zpřesnění výsledků těchto simulací.

Věřím, že tato práce pomůže budoucím generacím studentů, kteří budou v rámci dalších ročníků soutěže MotoStudent provádět počítačové zkoušky dalších modelů motocyklu týmu CTU Lions.

Použité zdroje

- [1] FIRST, Jiří a kol. *Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry*. 1. vyd. Praha: S&T CZ, 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [2] VLK, F. *Teorie a konstrukce motocyklů*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1601-7.
- [3] MOTO ENGINEERING FOUNDATION. *MotoStudent: Competition Regulations* [online]. Španělsko, 2015. [cit 2016-07-13]. Dostupné z: <http://motostudent.com/>.
- [4] CZ FERRO – STEEL, spol. s r.o. *ČSN 11523 – konstrukční ocel* [online]. [cit 2016-07-25]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/cz/nas-sortiment/trubky-ocelove-podelne-svarovane-hladke/>.
- [5] MATERIAL GRADES. *ISO 630 Structural Billet Fe-510 Steel* [online]. [cit 2016-07-25]. Dostupné z : <http://www.materialgrades.com/iso-630-structural-billet-fe-510-steel-778.html>

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 - Logo MotoStudent [3]..... | 10 |
| Obrázek 2 - Model motocyklu MotoStudent týmu CTU Lions | 11 |
| Obrázek 3 - Statická zatěžovací zkouška motocyklu MotoStudent [3] | 16 |
| Obrázek 4 - Nálepka potvrzující úspěšné splnění statických zkoušek [3]..... | 17 |
| Obrázek 5- Nálepka potvrzující úspěšné splnění dynamických zkoušek [3]..... | 17 |
| Obrázek 6 – Nálepka potvrzující úspěšné splnění administrativních zkoušek [3]..... | 18 |
| Obrázek 7 - Schéma zkoušky brzdění [3]..... | 19 |
| Obrázek 8 - Schéma zkoušky akcelerace [3]..... | 20 |
| Obrázek 9 - Příklad svaru rámu motocyklu | 25 |
| Obrázek 10 - Příklad lepení jednotlivých prvků k přístrojové desce..... | 26 |
| Obrázek 11 - Příklad využití šroubů na motocyklu..... | 27 |
| Obrázek 12 - Model motocyklu týmu CTU Lions | 28 |
| Obrázek 13 - Model rámu motocyklu týmu CTU Lions..... | 29 |
| Obrázek 14 - Příklad sítě..... | 30 |
| Obrázek 15 - Hlava řízení s aplikovanou sítí | 31 |
| Obrázek 16 - Ukázka dvou vrstev sítě hlavy řízení..... | 32 |
| Obrázek 17 - Polovina rámu (pohled z přední strany)..... | 33 |
| Obrázek 18 - Polovina rámu (pohled ze zadní strany) | 34 |
| Obrázek 19 - Model rámu vytvořený ze střednicových ploch..... | 35 |
| Obrázek 20 - Zobrazení funkce Vertex/Edge Drag..... | 36 |
| Obrázek 21 - Přiblížení na spoj..... | 37 |
| Obrázek 22 - Spojený rám s vyznačenými spoji..... | 38 |
| Obrázek 23 - Vzhled sítě po automatickém vytvoření | 39 |
| Obrázek 24 - Vzhled sítě po úpravě | 40 |
| Obrázek 25 - Oba připravené modely | 41 |
| Obrázek 26 - Kompletní rám..... | 42 |
| Obrázek 27 - Ukázka směru působení sil na zadní čtyři trubky | 43 |
| Obrázek 28 - Ukázka působení sil na spodní dvě trubky..... | 44 |
| Obrázek 29 - Ukázka směru působení síly na spojovací trubku..... | 44 |
| Obrázek 30 - Ukázka směru působení síly na spojovací trubku z jiného úhlu | 45 |
| Obrázek 31 - Ukázka směru působení síly na hlavu řízení | 46 |
| Obrázek 32 - Místo ukotvení rámu | 47 |
| Obrázek 33 - Průběh napětí modelem rámu (pohled svrchu) | 48 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 34 - Průběh napětí modelem rámu (pohled zespodu)..... | 48 |
| Obrázek 35 - Místo největšího napětí | 49 |
| Obrázek 36 - Místo s druhým největším napětím..... | 50 |