



Rám pro upevnění motocyklového motoru k dynamometru.

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Tomáš Pavlů**
Vedoucí práce: prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

Frame for fixing the motorcycle engine to the dynamometer.

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Tomáš Pavlů**
Supervisor: prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Pavlů**
Osobní číslo: **S12000162**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Rám pro upevnění motocyklového motoru k dynamometru.**
Zadávací katedra: **Katedra vozidel a motorů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Rešeršní, konstrukční a experimentální práce z oblasti testování motocyklových motorů na standardních brzdových stanovištích. Práce bude zaměřena na konstrukci rámu pro uchycení motocyklového motoru k dynamometru za účelem měření výkonových parametrů.

Postup:

- 1) V rešeršní části proveďte průzkum současného stavu problematiky měření výkonových parametrů motocyklových motorů. Předpokládá se návštěva některého českého výrobce motocyklů a studium uveřejněných literárních a prospektových podkladů.
- 2) Navrhněte optimální řešení rámu pro upevnění motocyklového motoru, např. Suzuki GSXR 600, k odpružené desce brzdového stanoviště, včetně návrhu spojovacího hřídele s dynamometrem.
- 3) Návrh realizujte v dílně a laboratoři pohonných jednotek TU v Liberci.
- 4) Zařízení ověřte jednoduchým měřením výkonových parametrů.

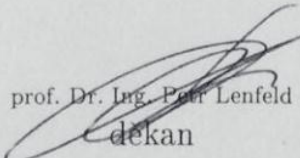


Rozsah grafických prací: výkresová dokumentace rámu
Rozsah pracovní zprávy: 40-50 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

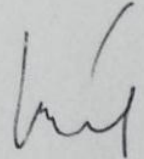
1. VLK, František. Teorie a konstrukce motocyklů. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1601-7.
2. Araki, Y. and Kato, R., "Motorcycle Engine Development System by Using a Test Bed with Simulation Technology," SAE Technical Paper 2006-32-0103, 2006, doi:10.4271/2006-32-0103.
3. ŠUMAN-HREBLAY, Marián. Sportovní motocykly: české a slovenské motocykly od roku 1945. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-2225-9.
4. ETTL, Jaroslav. Mobilní upevňovací rám pro spalovací motory o zdvihovém objemu 1-2 dm³. Bakalářská práce KVM-BP-280, FS, TU v Liberci, 2012.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.
Katedra vozidel a motorů

Datum zadání bakalářské práce: 15. listopadu 2015
Termín odevzdání bakalářské práce: 15. února 2017


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Robert Voženílek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce panu prof. Ing. Celestýnu Scholzovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při zpracování této bakalářské práce. Dále pánům Ing. Josef Popelka a Josef Anděl za pomoc a rady v laboratořích TUL a panu Ing. Aleši Dittrichovi za rady během měření.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou měření výkonových parametrů motocyklových motorů. Pojednává o způsobech těchto měření u předních českých výrobců motocyklů. Obsahuje konstrukční návrh upevňovacího rámu pro standardní brzdové stanoviště s vířivým dynamometrem. Návrh spojovacího hřídele a krytu spojovacího hřídele. Měření jsou prováděna na motoru určeného pro soutěž Formula Student, který bude na tomto zařízení následně upravován a doladován.

Klíčová slova

Motocyklový motor, rámová konstrukce, měření, dynamometr, spojovací hřídel.

Abstract

This bachelor thesis deals with performance measurement of motorcycle engines. Discusses the way, how these measurements are made by the leading Czech motorcycle producers. It includes engineering design of mounting frame for standard dynamometer station. Design of the connecting shaft and its housing. Measurements are performed on an engine for Formula Student competition, which will be adjusted and tuned on this device.

Key words

Motorcycle engines, mounting frame, testing, dynamometer, connecting shaft.

Obsah

Úvod	12
1 Rešerše současného stavu.....	13
1.1 Měřicí zařízení	13
1.1.1 Elektromagnetické vířivé dynamometry	13
1.1.2 Hydrodynamické dynamometry.....	14
1.1.3 Asynchronní střídavé dynamometry	14
1.2 Měřicí zařízení v laboratořích TUL.....	15
1.3 Měřicí zařízení u českých výrobců motocyklů	15
1.3.2 Jawa, Týnec n. Sázavou	15
1.3.3 Jawa Divišov.....	16
2 Konstrukční návrh.....	17
2.1 Návrh rámu.....	17
2.1.1 Skenování motoru	17
2.1.2 Tvorba 3D modelu rámu.....	18
2.1.3 Výpočet reakcí pro zatížení MKP.....	20
2.1.4 Výpočet modelu rámu metodou MKP.....	24
2.2 Návrh spojovacího hřídele.....	26
2.2.1 Určení výstupu.....	26
2.2.2 Konstrukce.....	28
2.2.3 Kontrolní výpočet v místě s nejmenším průřezem.....	30
2.3 Ochranný kryt spojovacího hřídele	31
3 Příprava na měření.....	32
3.1 Výroba rámu.....	32
3.2 Výroba příruby spojovacího hřídele	33
3.3 Příprava senzorů na měření	34
3.4 Vyrovnání rámu vůči motorové brzdě.....	35
3.5 Další příprava.....	36
4 Měření	37
4.1 Měření č. 1.....	37
4.2 Měření č. 2.....	37
5 Závěr	41
Seznam použité literatury	42

Seznam obrázků

Obr. 1 Elektromagnetická vířivá brzda chlazená vzduchem.....	13
Obr. 2 Hydrodynamický dynamometr [3]	14
Obr. 3 Odpružená deska.....	15
Obr. 4 Brzdové stanoviště pro motor Jawa	16
Obr. 5 Brzdové stanoviště pro motor ESO.....	16
Obr. 6 Skenovaný model motoru GSXR 600ccm	17
Obr. 7 Umístění motoru v modelu	18
Obr. 8 Rám z uzavřených profilů	18
Obr. 9 Pohled na vyjímatelné výpalky uchycení motoru.....	19
Obr. 10 Pohled na zadní žebřinovou strukturu a na prostor pro spojovací hřídel.....	19
Obr. 11 Číslování úchyťů motoru pro vektorový řádek.....	20
Obr. 12 Určení souřadnic a výpočtu složek sil.....	21
Obr. 13 Zatížení rámu silami.....	24
Obr. 14 Napětí von Mises (modifikovaná stupnice).....	24
Obr. 15 Posunutí.....	25
Obr. 16 Součinitel bezpečnosti.....	25
Obr. 17 Kuželový svěrný spoj [2]	26
Obr. 18 Pohled na ozubené kolo klikového hřídele [5]	26
Obr. 19 Řetězové kolo	27
Obr. 20 Náčrt spojovacího hřídele Centaflex	28
Obr. 21 Řez modelem spojovacího hřídele	28
Obr. 22 Obroušené řetězové kolo	29
Obr. 23 Hotová příruba spojovacího hřídele se zalisovaným řetězovým kolem.....	29
Obr. 24 Prodloužená trubka obrobená ze svařovaného polotovaru.....	30
Obr. 25 Model ochranného krytu.....	31
Obr. 26 Příprava na svařování	32
Obr. 27 Rám po svaření a nabarvení	32
Obr. 28 Motor namontovaný v rámu	32
Obr. 29 Příruba spojovacího hřídele.....	33
Obr. 30 Příruba na výstupním hřídeli	33
Obr. 31 Hadicová redukce	34
Obr. 32 Měření teploty oleje (nahrazuje šroub vypouštění oleje).....	34
Obr. 33 Měření podtlaku v klikové skříni (nahrazuje šroub pro nalévání oleje)	35
Obr. 34 Měření tlaku oleje (měřeno pod klikovou hřídelí, hned za olejovým čerpadlem)	35
Obr. 35 Měření teploty spalin a hodnoty lambda	35
Obr. 36 Vyrovnání pomocí úchylkoměru	35
Obr. 37 Znázornění vyrovnání rámu.....	36
Obr. 38 Chladicí ventilátor [3]	36

Seznam grafů

Graf 1: Vnější momentová charakteristika a výkon	38
Graf 2: Měření teploty a tlaku	39
Graf 3: Teplota, měrná spotřeba, lambda	40

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přepočtené hodnoty zatížení rámu pro MKP (tučně)	23
Tabulka 2: převodové stupně, otáčky a výstupní moment	27
Tabulka 3: Přepočet otáček motorové brzdy	37
Tabulka 4: Vstupní data pro Graf 1	38
Tabulka 5: Vstupní data pro Graf 2	39
Tabulka 6: Vstupní data pro Graf 3	40

Seznam zdrojových kódů

Zdrojový kód 1: Matlab, výpočet reakčních sil v rámu	22
Zdrojový kód 2: Výsledek výpočtu scriptu v Matlabu	23

Seznam zkratek

F_{Gd}	[N]	dílčí síla zatížení hmotností motoru v každém místě uchycení
n	[-]	počet uchycení
F_{y1}	[N]	složka síly v prvním úchytku motoru ve svislém směru
F_{x1}	[N]	složka síly v prvním úchytku motoru ve vodorovném směru
F_1	[N]	celková síly v prvním úchytku motoru
α_1	[°]	úhel mezi kladným smyslem vodorovné osy a úsečkou spojenou mezi prvním úchytkem motoru a osou výstupní hřídele převodovky
r	[mm]	vektor vzdáleností úchytků motoru od osy výstupního hřídele
a	[°]	vektor úhlů úchytků motoru
M_3	[Nm]	moment na výstupní hřídeli převodovky
F	[N]	vektor reakčních sil na úchytech motoru
A_x	[-]	vektor sinů odchylek úchytků
A_y	[-]	vektor cosinů odchylek úchytků
F_x	[N]	vektor vodorovných složek reakcí v úchytech
F_y	[N]	vektor svislých složek reakcí v úchytech
F_{Gy}	[N]	svislé složky reakcí + gravitační síla
M_k	[Nm]	točivý moment na klikové hřídeli
τ_k	[Mpa]	povrchové napětí
w_k	[mm ³]	průřezový modul v krutu
k	[-]	bezpečnost provozu
i_{prim}	[-]	primární převod motoru
i_3	[-]	převod třetího rychlostního stupně

Seznam příloh (Autodesk Inventor)

- I. Výkresová dokumentace rámu
- II. Výkresová dokumentace příruby spojovacího hřídele
- III. Výkresová dokumentace krytu spojovacího hřídele

Úvod

Měření výkonových parametrů patří mezi zkušební metodu používanou při vývoji a konstrukci všech vozidel. Poskytuje zpětnou vazbu během vývoje, která může mít vliv až zpět na projektovou fázi. Význam má také jako diagnostická metoda při provozu a při možných úpravách motorů. Hodnota výkonu patří mezi významné parametry, v praxi je však důležitý i jeho průběh v závislosti na otáčkách. Dalším sledovaným parametrem je točivý moment. Snahou je dosáhnout ploché momentové křivky, u které nejsou v průběhu citelné propady. Hodnota točivého momentu by měla být v širokém rozsahu otáček konstantní. Zajištěním těchto vlastností docílíme předvídatelného přísunu točivého momentu na zadní kolo motocyklu. V případě motocyklů je často porovnávaným údajem poměr výkon/váha, který poskytuje přibližnou představu o dynamických parametrech daného stroje.

V současné době se k měření používají válcové brzdy nebo dynamometry. Válcová brzda obsahuje válec o známém momentu setrvačnosti a velké hmotnosti. Při roztočení válce koly vozidla se inkrementálním snímačem měří úhlové zrychlení, z kterého lze vypočítat okamžitý moment. Dynamometry se používají pro měření výkonu přímo na motoru nebo i u válcových zkušeben. Dělí se na elektromagnetické vířivé, hydrodynamické a asynchronní střídavé dynamometry. K historickým zařízením pro měření výkonových parametrů patří Pronyho brzda, kde se měří na bubnu obepnutém pásem, který je přitlačován siloměry a čepově uložené dynamometry, které využívají protizávaží na známé délce ramena k vyvážení točivého momentu. Dalším zařízením je tenzometrickým snímačem, který měří pootočení klikové hřídele vůči hnané hřídeli.

Pro uchycení motocyklových motorů se používají rámy jednoúčelové (pro soutěžní motory) a paletové rámy pro sériovou výrobu a snazší manipulaci. V této bakalářské práci se budu zabývat problematikou měření výkonových parametrů motocyklových motorů a jejich mechanickému upevnění k měřicímu zařízení. Měření bude provedeno na motoru značky Suzuki, typové označení GSX-R 600. Cílem práce je vyhotovení rámu pro uchycení tohoto motoru na klasickém brzdovém stanovišti a provedení zkušebního měření výkonových parametrů.

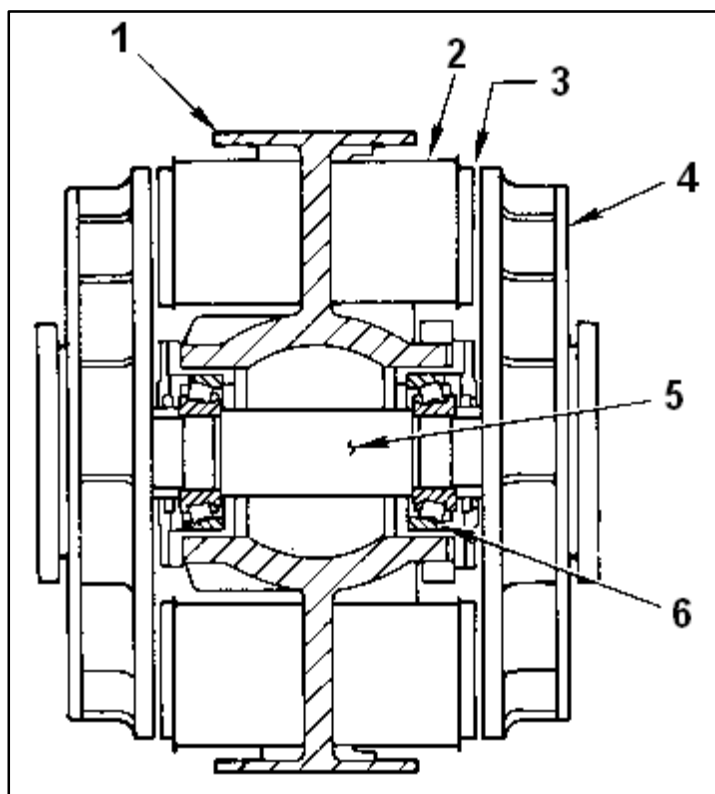
1 Rešerše současného stavu

1.1 Měřicí zařízení

Měřicí zařízení určené k měření výkonových parametrů se nazývají dynamometry. Měření výkonu může probíhat buď na celém motocyklu s použitím tzv. válcových stanovišť. Druhou možností je měření výkonu samotné pohonné jednotky. Ideálnějším způsobem je měření s celým motocyklem, měří se skutečný výkon na zadním kole, který je k dispozici pro řidiče. Měření přímo na motoru vykazuje vždy vyšší hodnoty výkonu i točivého momentu protože se tak vyhýbáme ztrátám v převodových ústrojích vozidla a valivého odporu hnacího kola.

1.1.1 Elektromagnetické vířivé dynamometry

Jedná se o pasivní dynamometry, které pracují na principu elektromagnetické indukce a při vzniku vířivých proudů k vytváření brzdného momentu a disipace energie. O vířivých proudech lze hovořit jako o proudech indukovaných v uzavřených elektrických obvodech vlivem změny magnetického indukčního toku v jejich okolí. Pokud bychom umístili uzavřený elektrický obvod do stacionárního magnetického pole – neměnného v čase, žádný proud se v něm neindukuje. K indukci dojde pouze při rozpohybování obvodu, při rozpohybování zdroje magnetického pole nebo při změně intenzity magnetického pole (např. změnou elektrického proudu procházejícího cívkami). Indukovaný proud ve smyčce se brání změně, která jej vyvolala a tím brzdí rotor.

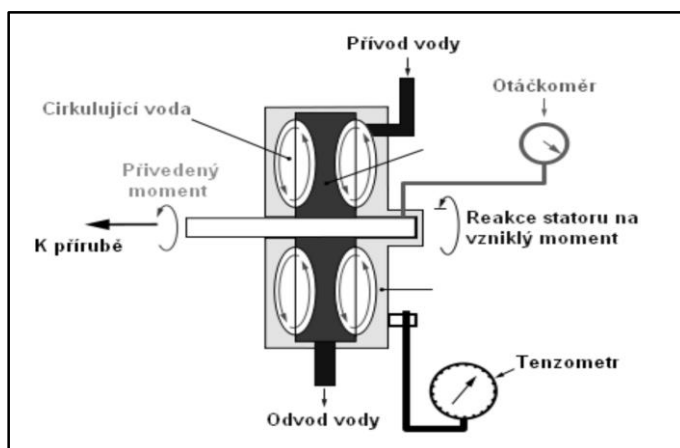


Obr. 1 Elektromagnetická vířivá brzda chlazená vzduchem: 1 – rám; 2 – budící cívka; 3 – vzduchová mezera; 4 – rotor s přírubou; 5 – hřídel rotoru; 6 – ložisko; [3]

Do budicího vinutí cívky je přivedeno stejnosměrné napětí, tím vzniká magnetické pole, jehož siločáry protínají rotující rotor. Ten zastává funkci uzavřené smyčky. V té se indukuje elektrický proud bránící rotaci, která jej vyvolala. Energie přivedená z měřicího válce na rotor dynamometru se během brzdění přeměňuje v rotorech na teplo, které je třeba odvádět. K chlazení jsou určeny přímo rotory obsahující chladicí žebra, pomocí nichž se s rostoucími otáčkami rotoru zvyšuje i průtok chladicího vzduchu nebo chladicí kapaliny. Vířivé dynamometry nepůsobí žádným brzdícím momentem v blízkosti nulových otáček, protože nedochází k žádným změnám nutným k indukci proudu v rotorech. Výhodou těchto dynamometrů je možnost velkého brzdícího točivého momentu i v nižších otáčkách a snadná, rychlá a přesná regulace zatížení.

1.1.2 Hydrodynamické dynamometry

V tomto dynamometru se přivedená energie mění v teplo vnitřním třením částic kapaliny, nejčastěji vody. Celý děj probíhá ve vodotěsném statoru, ve kterém jsou dutiny tvaru toroidu. Stejná vybrání má i uvnitř umístěný rotor a ve vytvořených dutinách mezi rotorem a státorem cirkuluje voda. Uvedením rotoru do pohybu dojde k většímu víření vody a vlivem odporu proudění vody vzniká brzdící účinek proti přivedené energii na rotoru dynamometru. Regulace brzdícího účinku se nejčastěji provádí změnou množství přiváděné vody pomocí ventilů na přívodu a odvodu. Voda kromě funkce pracovního média slouží i k chlazení a odvodu zmařené energie.



Obr. 2 Hydrodynamický dynamometr [3]

Oproti vířivým dynamometrům se jedná o jednodušší zařízení, je levnější, má menší moment setrvačnosti a dovoluje dosáhnout vysokých otáček, avšak potřebuje další aparáty pro dodávku vody, která je hlavním pracovním médiem. Dalším negativem je horší regulace brzdícího momentu.

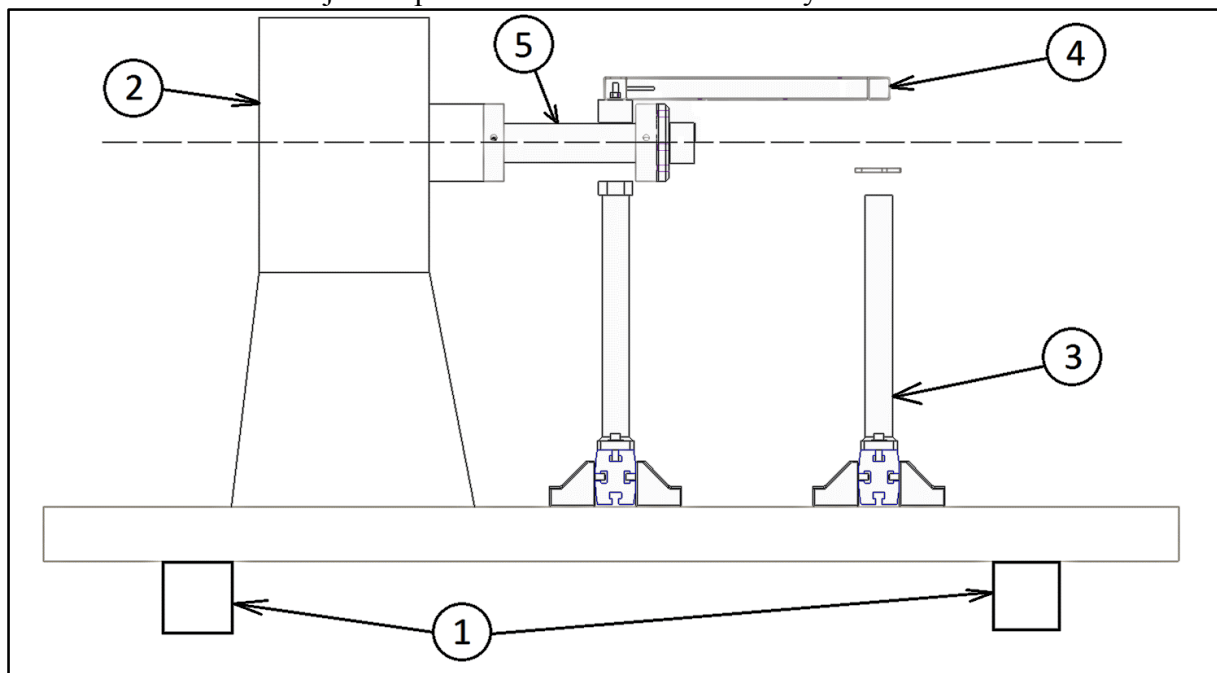
1.1.3 Asynchronní střídavé dynamometry

Moderním typem jsou asynchronní střídavé dynamometry. Jedná se v podstatě o asynchronní elektromotory s kotvou nakrátko. Přivedením třífázového střídavého proudu na vinutí jejich statoru vzniká točivé magnetické pole indukující napětí v rotoru a vyvolávající moment otáčející rotorem. Tyto dynamometry mohou pracovat jako pasivní (působí brzdícím momen-

tem), nebo jako aktivní (dynamometr pohání motor). Řízením otáček elektromotoru frekvenčním měničem poskytuje nejdokonalější kontrolu zatěžování motoru při výkonových zkouškách. Výhodou je nízký moment setrvačnosti a rychlost regulace otáček, možnost rekuperace elektrické energie do sítě. Nevýhodou je vyšší cena. Dnes se jedná jednoznačně o standard při vybavování nových zkušeben. Důvodem jsou i potřeby řízení rychlých nestacionárních měření.

1.2 Měřící zařízení v laboratořích TUL

Laboratoře TUL disponují všemi výše zmíněnými druhy dynamometrů. Pro potřeby mé bakalářské práce budu měření provádět na vířivém dynamometru Schenck WT 150. Dynamometr je umístěn spolu s motorem na desce odpružené vzduchovými pružinami s vlastním vyrovnáváním. Tato deska je schopná eliminovat vibrace od nevyváženosti motorů.



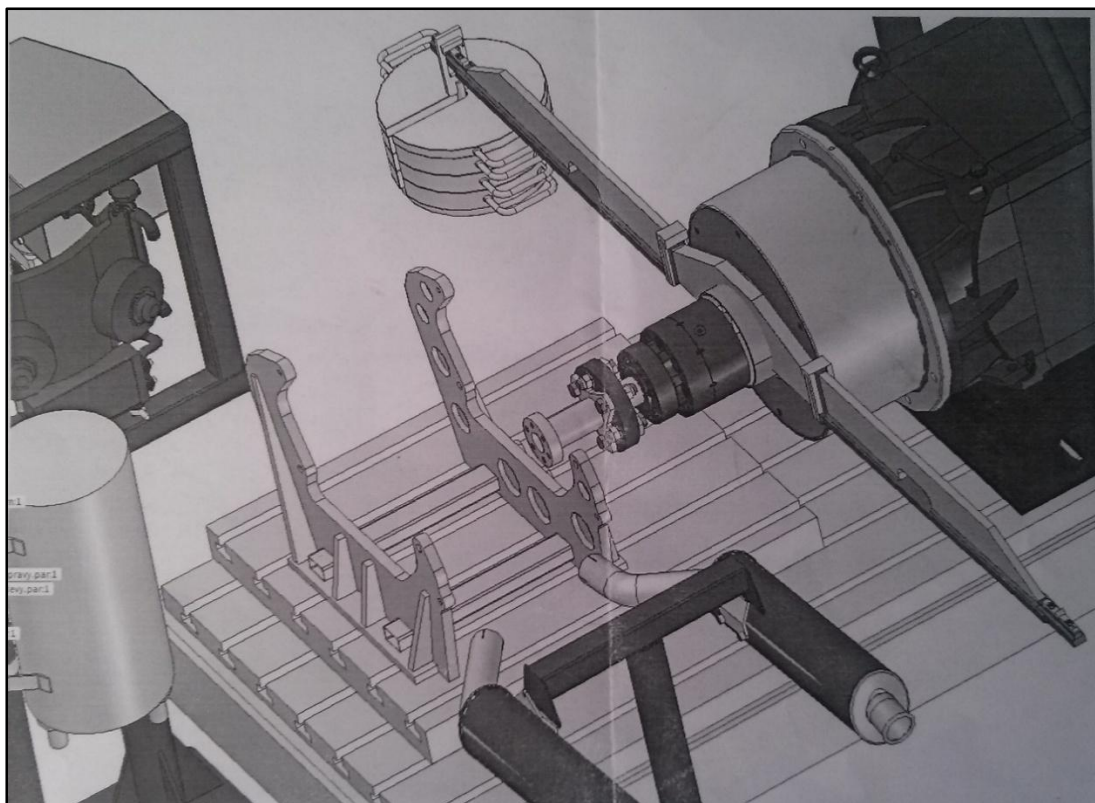
Obr. 3 Odpružená deska: 1 – plynové pružiny; 2 – dynamometr; 3 – podstavné nohy; 4 – rám motoru; 5 – spojovací hřídel;

1.3 Měřící zařízení u českých výrobců motocyklů

V rámci bakalářské práce jsem navštívil stylem exkurze dvě české firmy zabývající se konstrukcí motocyklů. Získané poznatky se pokusím upotřebit v této práci při návrhu přídržného rámu pro měření na dynamometru.

1.3.2 Jawa, Týnec n. Sázavou

Jako první jsem navštívil firmu Jawa v Týnci nad Sázavou, která má s výrobou motocyklů již dlouholeté zkušenosti. Zde jsem si prohlédl měřící zařízení pro zátěžové zkoušky nově vyvíjeného motoru Jawa 1000. Uchycení motoru je provedeno pomocí svařence z ocelových výpalků, které využívají úchyty motoru k rámu. Úchyty jsou pouze ze spodní strany motoru, tedy motor je možné vyjmout směrem vzhůru bez potřeby rozkladu přídržného rámu. Výkon je z motoru odebírán přes převodovku. Zařízení je navrženo na dlouhodobé zkoušky.



Obr. 4 Brzdové stanoviště pro motor Jawa

1.3.3 Jawa Divišov

Další exkurze proběhla ve firmě Jawa v Divišově, kde se vyrábí jednoválcové motory ESO pro soutěžní plochodrážní motocykly. Tyto jednoválce se vyznačují velkým litrovým výkonem a také značnými vibracemi. Zdvihový objem vyráběných motorů je 500ccm a 250ccm. Palivem je methanol. Uložení výpalků, držících motor, je tedy provedeno pomocí silentbloků. Kvůli vysokým otáčkám klikového hřídele je výkon odebírán přes ozubený řemen s protichůdným šikmým ozubením z místa kde by se na motocyklu nacházela spojka.



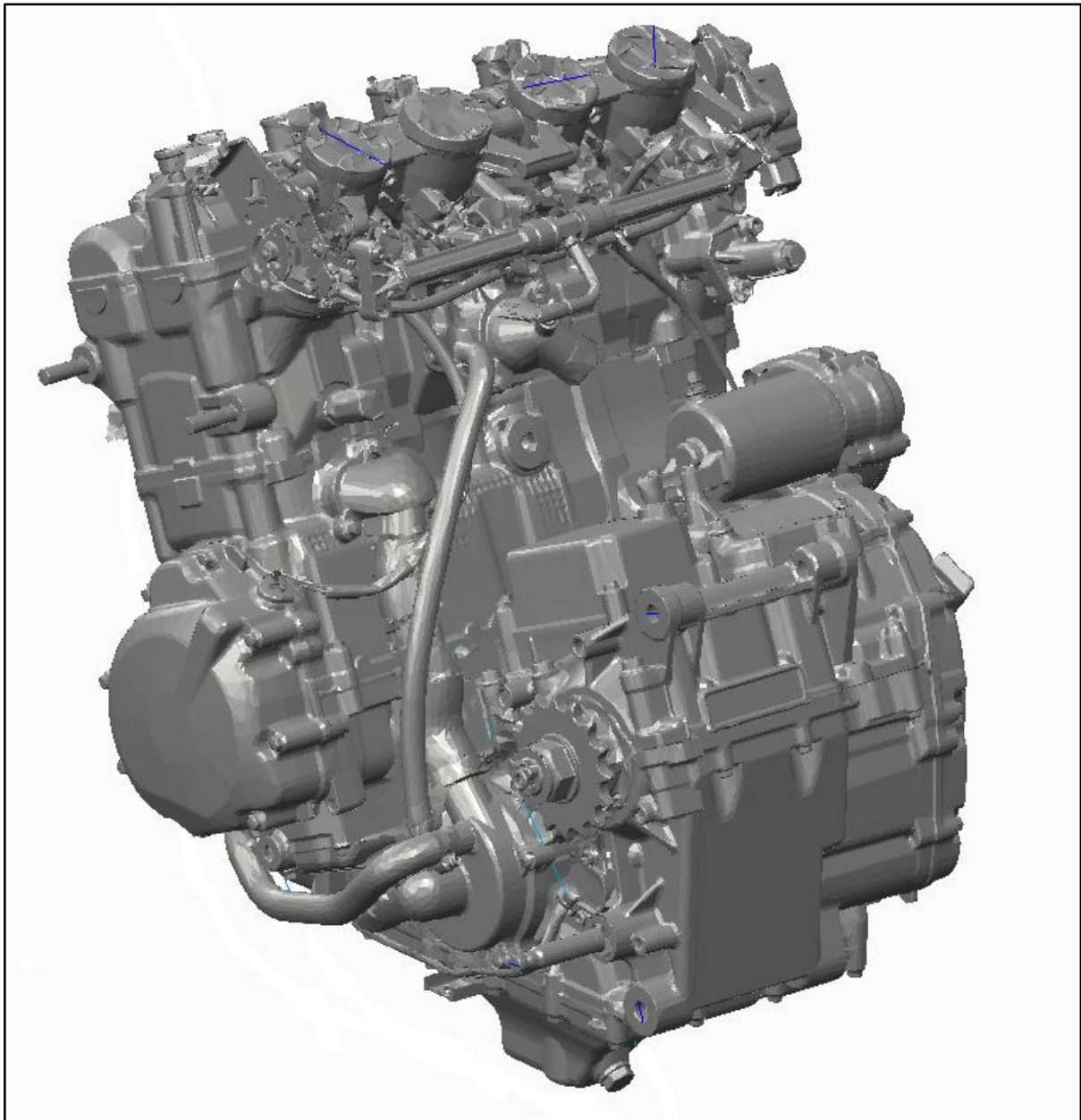
Obr. 5 Brzdové stanoviště pro motor ESO

2 Konstrukční návrh

2.1 Návrh rámu

2.1.1 Skenování motoru

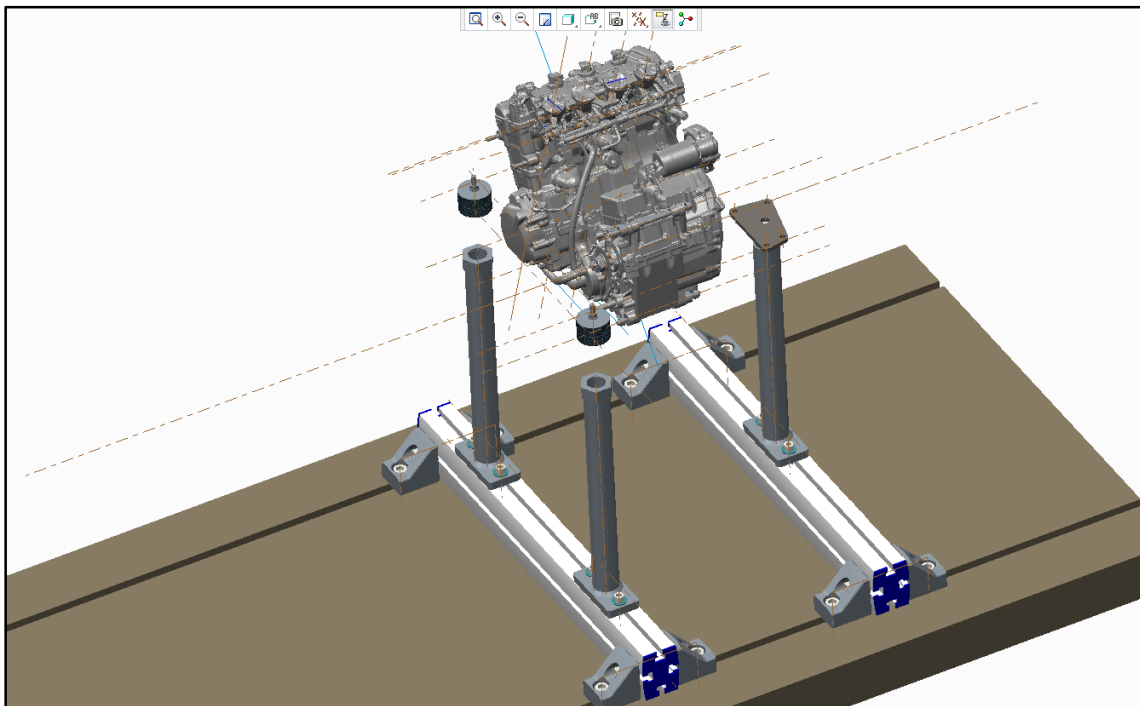
Návrh vychází z rozměrů daného brzdového stanoviště, z polohy spojovacího hřídele a z pozic úchytů motoru k původnímu motocyklovému rámu. K projektu Studentské formule je k dispozici 3D sken motoru, který provedla Katedra výrobních systémů TUL. Na motoru se nachází celkem 5 úchytů. Dva úchyty umístěné za převodovkou jsou průchozí. Zbývající tři jsou na hlavě válců, dva vlevo, poslední vpravo. Do úchytů se závity na hlavě válců byly našroubovány šrouby bez hlavičky, aby bylo možné lepší odměření jejich pozic v modelu. Přesnost takového modelu je v řádech desetin milimetru, což je pro návrh šroubových spojů dostačující.



Obr. 6 Skenovaný model motoru GSXR 600ccm

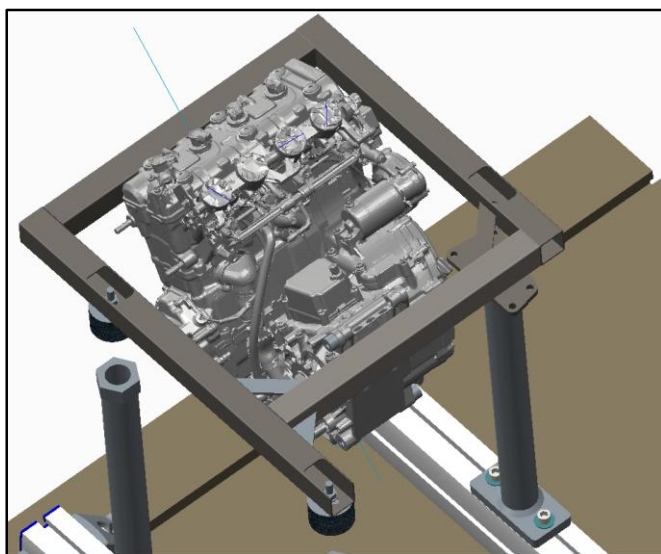
2.1.2 Tvorba 3D modelu rámu

Model motoru byl umístěn do scény. Byla ztotožněna osa výstupního hřídele převodovky s osou motorové brzdy, která leží 800mm nad základní deskou. Pozice podstavných profilů a stavěcích nohou byla převzata z původního nastavení pro jiný motor. Tím se ušetří manipulace s těmito prvky při osazování motoru. Použijí se i původní pryžová uchycení pro automobilové motory.



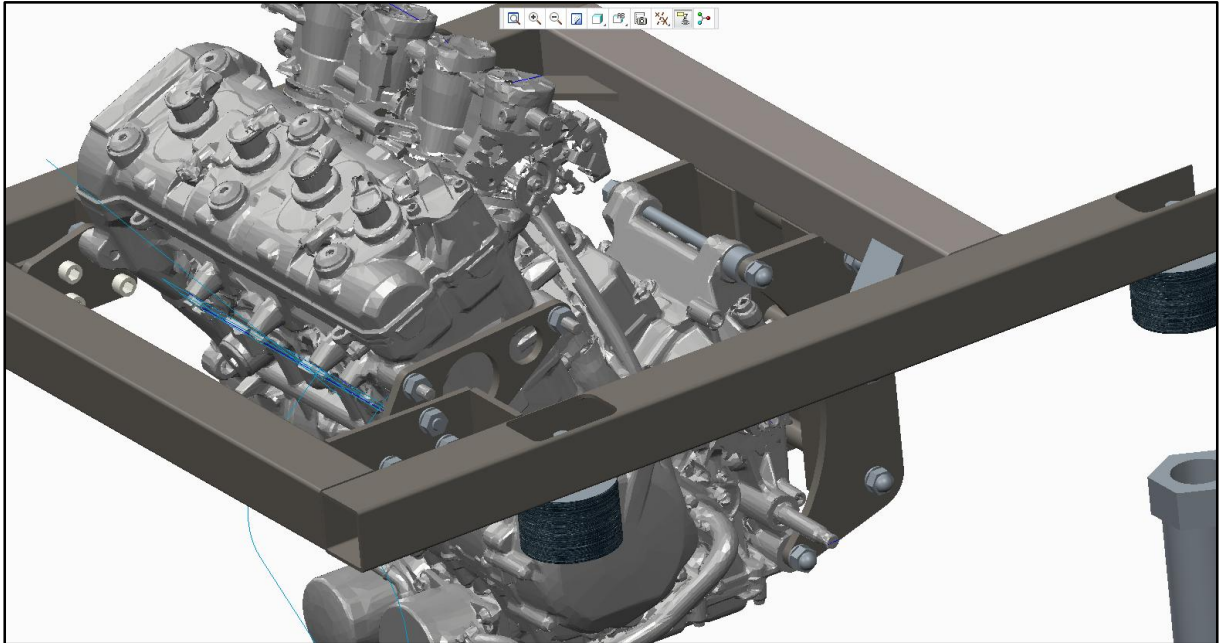
Obr. 7 Umístění motoru v modelu

Hlavní myšlenkou při návrhu rámu byla uzavřená struktura z uzavřených profilů. Rám bude vyroben jako svařenec z měkké oceli. Jako nosný profil jsem zvolil polotovar čtvercového průřezu o rozměru 50x50-3mm. Rám bude procházet nad stavěcími nohami. Pro snazší montáž matic je profil nad nohami otevřený. V rozích rámu jsou umístěna žebra.



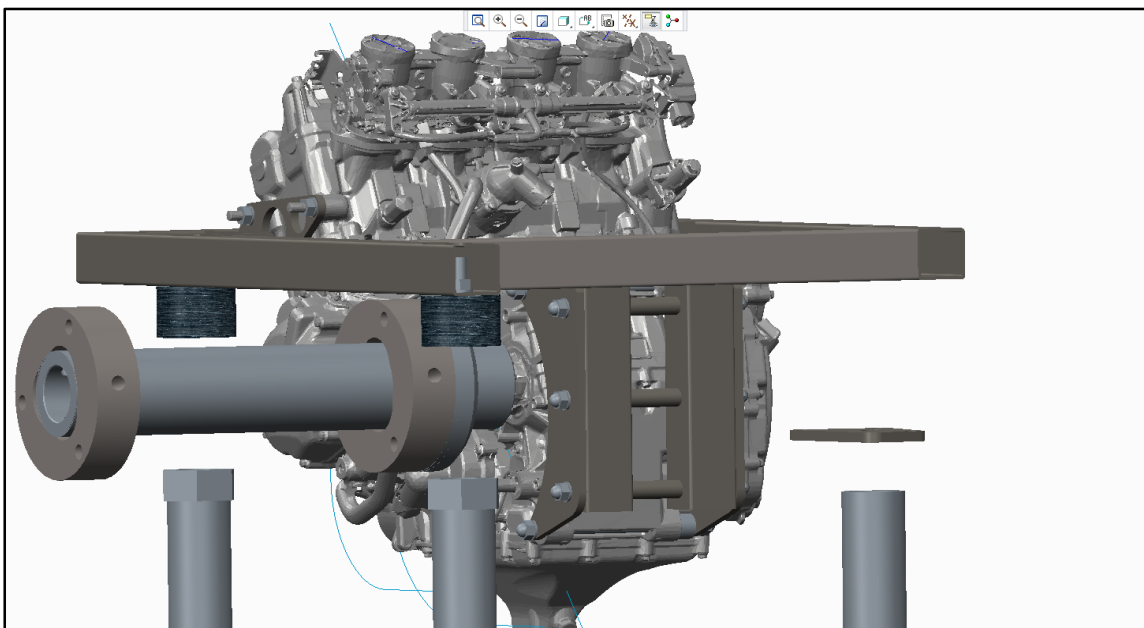
Obr. 8 Rám z uzavřených profilů

Budou využity všechny úchyty na motoru. K jejich přichycení k rámu volím výpalky z 2D laseru, které budou do struktury rámu šroubované a tedy vyměnitelné. Rám tak může posloužit i pro jiný motor podobného zdvihového objemu. Díky odnímatelným výpalkům je usnadněna montáž motoru. Je použito šroubů M10. Otvory pro šrouby jsou s vůlí 0,5mm aby byl prostor pro odchylku skenu rámu a pro přesnost výroby.



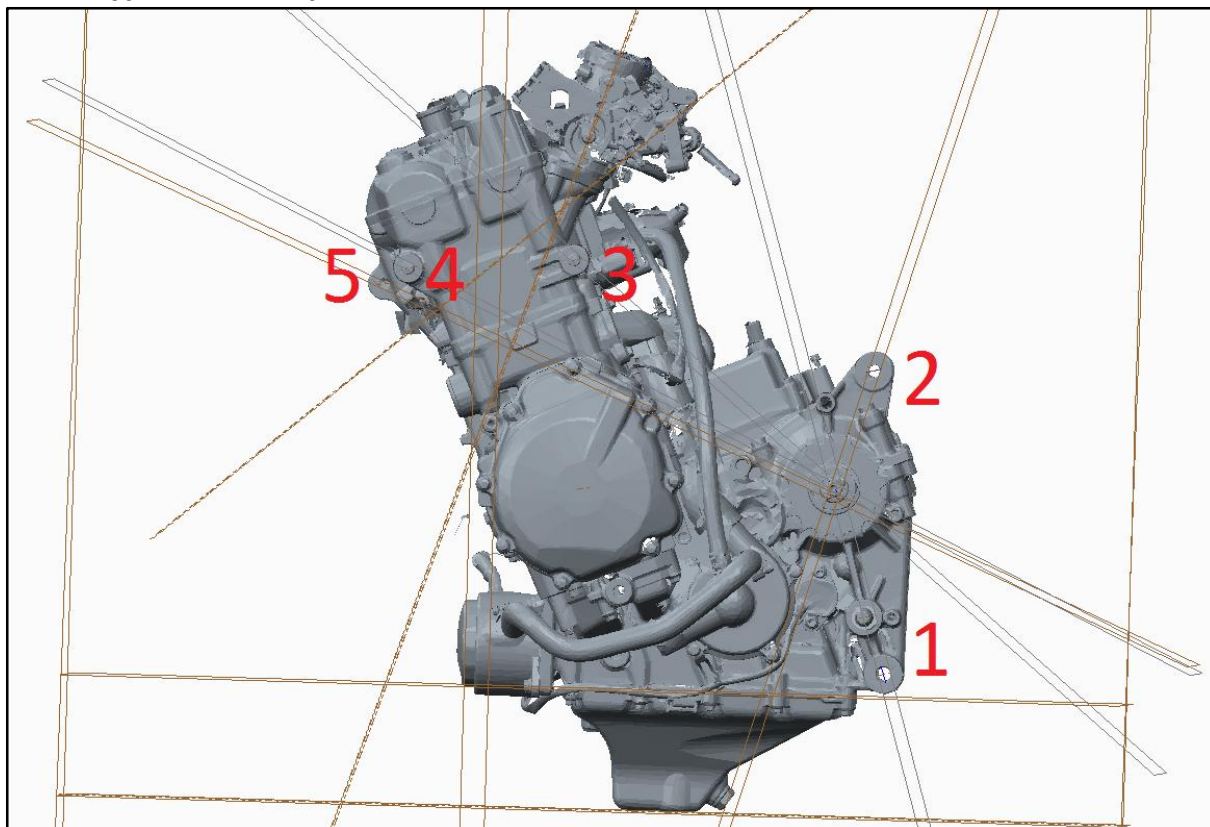
Obr. 9 Pohled na vyjímatelné výpalky uchycení motoru

Rám byl umístěn v takové výšce, aby nekolidoval se spojovacím hřídelem a s výfuky. Byla volena ovšem taková výška, aby byl rám co nejbližší k úchytům motoru. Zadní část má žebřinovou strukturu, aby při dotahování šroubů nedocházelo k deformacím. Šrouby jsou dotahovány proti třem trubkám zapuštěným v profilu. Díky této podpoře je možné rám dotáhnout silně a nedojde k deformacím nebo uvolnění šroubů.



Obr. 10 Pohled na zadní žebřinovou strukturu a na prostor pro spojovací hřídel

2.1.3 Výpočet reakcí pro zatížení MKP



Obr. 11 Číslování úchytů motoru pro vektorový řádek

Poznámka:

Úchyty za převodovkou (1,2) jsou počítány jako jeden, i když do rámu jsou uchyceny ve dvou místech. Uvažuji jen zatížení v jedné rovině. Do výpočtového modelu budou výsledné složky sil (1,2) děleny dvěma a umístěny na příslušná místa. Výpočet je prováděn v programu Matlab r2009b.

Způsob výpočtu je podle [2] Zatížení skupiny šroubových spojů krouticím momentem. Uvažuji pouze zatížení vnějším reakčním momentem, které se přeneso přes motor jako přes tuhý člen na rámovou konstrukci. K příslušným složkám sil ve svislém směru připočtu vliv působení gravitace. Hmotnost motoru [m] zadávám 70kg. Těžiště uvažuji uprostřed. Ke každé svislé složce síly připočítávám hmotnost motoru dělenou počtem míst uchycení.

$$F_{Gd} = \frac{m \cdot g}{n} = \frac{70 \cdot 9,81}{7} = 98,1N$$

F_{Gd} dílčí síla zatížení hmotností motoru v každém místě uchycení

n počet uchycení

Výpočet velikosti reakčního momentu:

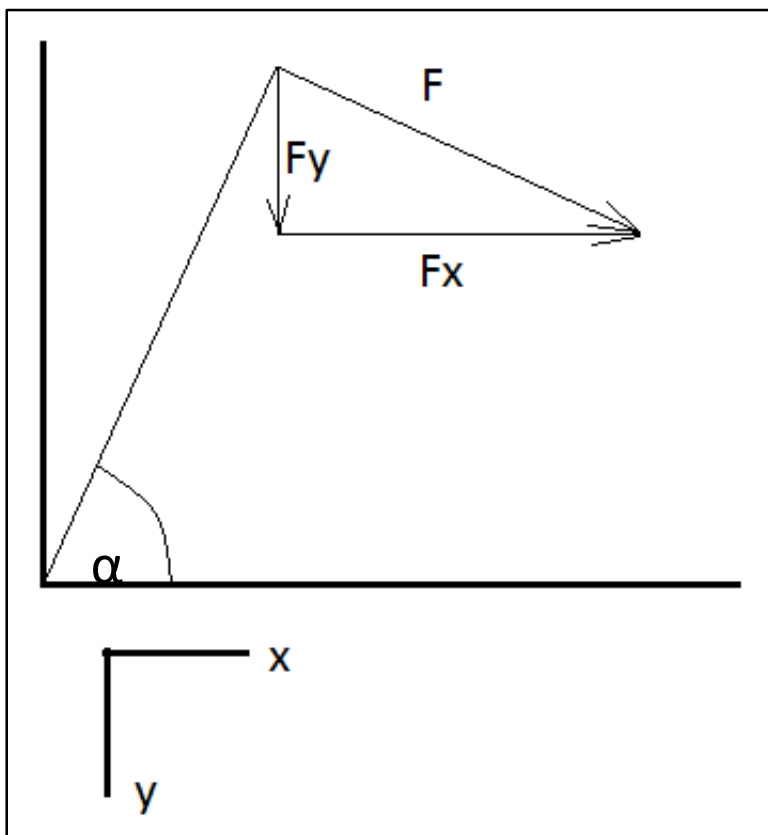
Odhadovaný moment na klikové hřídeli: 60Nm

Primární převod motoru: 1,927

Převod třetího rychlostního stupně: 1,682

$$M_3 = 60 * 1,927 * 1,682 = 194,5Nm$$

Výpočet zatěžujících sil bude proveden v programu Matlab. Náčrt znázorňuje sílu působící v úchytu 2.



$$\frac{F_{y1}}{F_1} = \cos\alpha_1$$

$$\frac{F_{x1}}{F_1} = \sin\alpha_1$$

Obr. 12 Určení souřadnic a výpočtu složek sil

Poznámka:

Souřadnici „y“ volím směrem dolů pro snadnější přičtení vektoru gravitace.


```

01 - clc
02 - clear all
03 - %vzdálenosti úchytů od osy
04 - r(1)=0.1496;
05 - r(2)=0.0959;
06 - r(3)=0.2684;
07 - r(4)=0.3726;
08 - r(5)=0.3873
09 - %odchylky polohy úchytů od vodorovné osy
10 - a(1)=286.5;
11 - a(2)=73.5;
12 - a(3)=140.3;
13 - a(4)=154.4;
14 - a(5)=156.5
15 - %převod z radiánů na stupně
16 - a=a*pi/180
17 - %výpočet reakčního momentu na 3. převodový stupeň
18 - %Vstupní moment ~ 60Nm
19 - %primární převod ~ 1,927
20 - %3.převod ~ 1,682
21 - M3=60*1.927*1.682
22 - %výpočet reakčních sil
23 - F(1)=(M3*r(1))/(r(1)*r(1)+r(2)*r(2)+r(3)*r(3)+r(4)*r(4)+r(5)*r(5));
24 - F(2)=F(1)*r(2)/r(1);
25 - F(3)=F(1)*r(3)/r(1);
26 - F(4)=F(1)*r(4)/r(1);
27 - F(5)=F(1)*r(5)/r(1)
28 - %cyklus pro výpočet sinů odchylek
29 - i=1;
30 - for i=1:5
31 - ax(i)=sin(a(i));
32 - i=i+1;
33 - end
34 - disp('Ax=');
35 - disp(ax);
36 - %cyklus pro výpočet cosinů odchylek
37 - i=1;
38 - for i=1:5
39 - ay(i)=cos(a(i));
40 - i=i+1;
41 - end
42 - disp('Ay=');
43 - disp(ay);
44 - %cyklus pro výpočet složek sil ve směru x
45 - i=1;
46 - for i=1:5
47 - Fx(i)=F(i)*ax(i);
48 - i=i+1;
49 - end
50 - disp('Fx=');
51 - disp(Fx);
52 - %cyklus pro výpočet složek sil ve směru y
53 - i=1;
54 - for i=1:5
55 - Fy(i)=F(i)*ay(i);
56 - i=i+1;
57 - end
58 - disp('Fy=');
59 - disp(Fy);

```

Zdrojový kód 1: Matlab, výpočet reakčních sil v rámu

```

r =
    0.1496    0.0959    0.2684    0.3726    0.3873

a =
    286.5000    73.5000    140.3000    154.4000    156.5000

a =
    5.0004    1.2828    2.4487    2.6948    2.7314

M3 =
    194.4728

F =
    74.1325    47.5221    133.0025    184.6376    191.9220

Ax=
   -0.9588    0.9588    0.6388    0.4321    0.3987

Ay=
    0.2840    0.2840   -0.7694   -0.9018   -0.9171

Fx=
   -71.0797    45.5652    84.9577    79.7793    76.5287

Fy=
    21.0548    13.4970  -102.3321  -166.5122  -176.0040

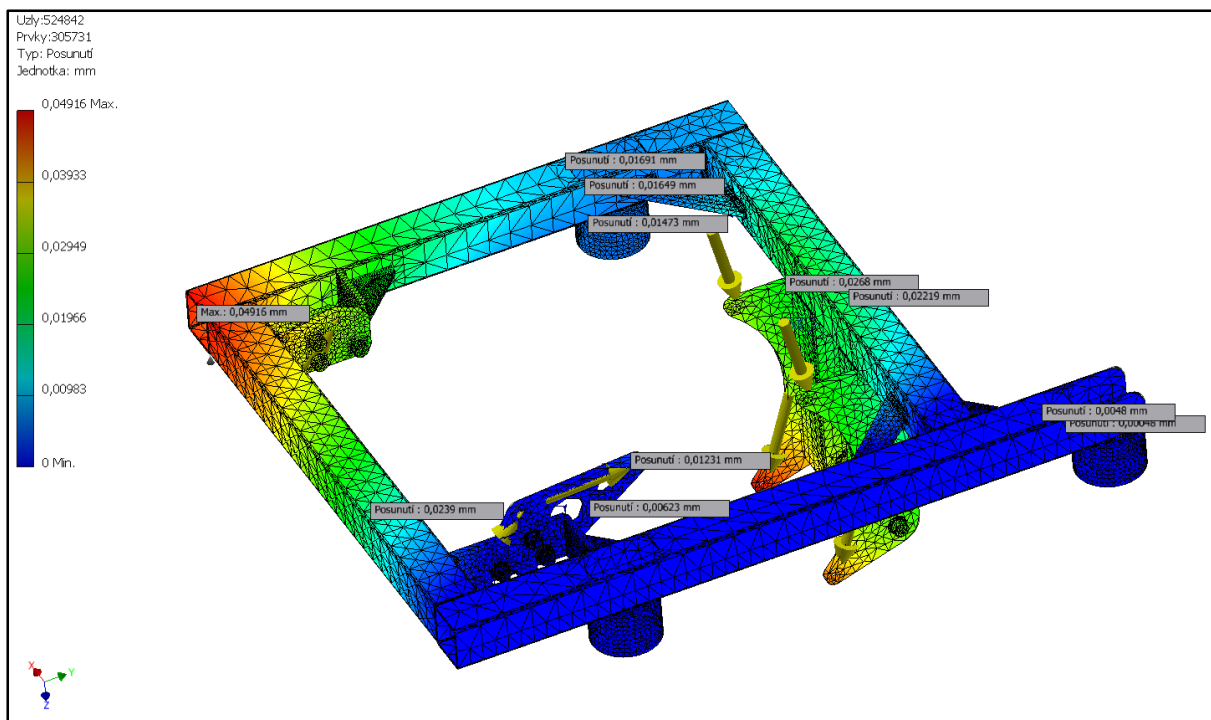
```

Zdrojový kód 2: Výsledek výpočtu scriptu v Matlabu

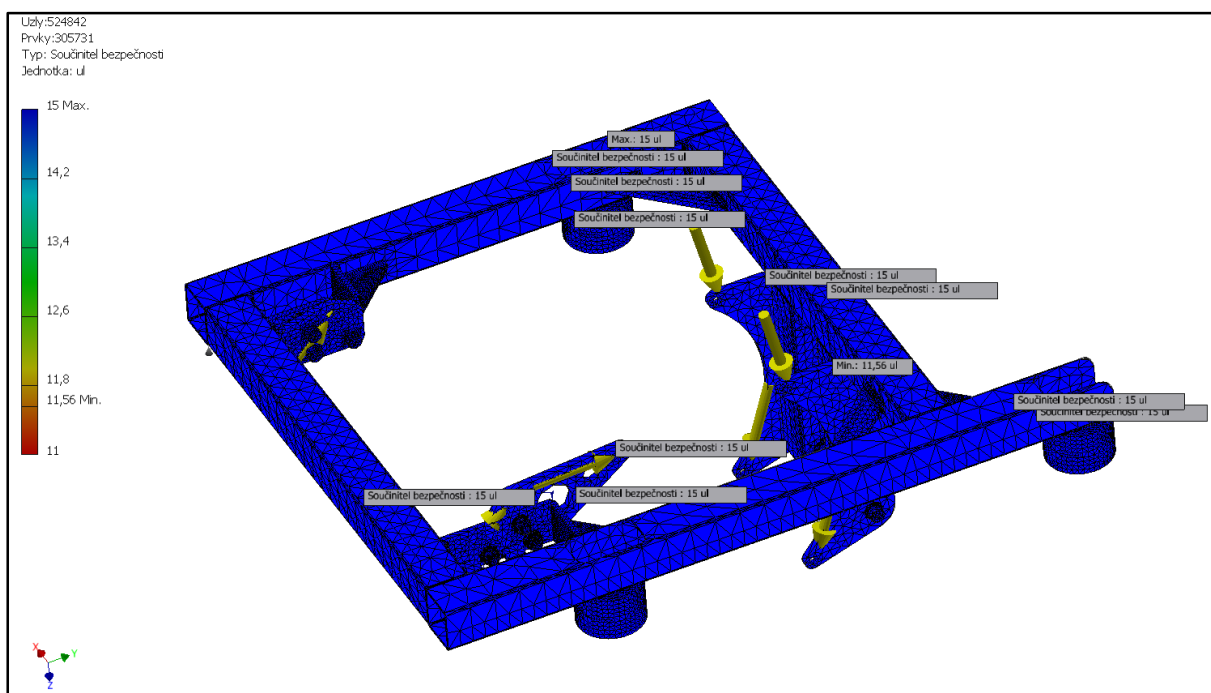
	1	2	3	4	5
F_x	-71,08	45,57	84,96	79,78	76,53
F_y	21,0548	13,50	-102,33	-166,51	-176,00
F	74,13	47,52	133,00	184,64	191,92

	1.1	1.2	2.1	2.2	3	4	5
F_x	-35,54	-35,54	22,78	22,78	84,96	79,78	76,53
F_y	10,53	10,53	6,75	6,75	-102,33	-166,51	-176,00
F_{Gd}	98,10	98,10	98,10	98,10	98,10	98,10	98,10
F_{Gy}	108,63	108,63	104,85	104,85	-4,23	-68,41	-77,90
F_c	114,29	114,29	107,30	107,30	85,06	105,10	109,20

Tabulka 1: Přepočtené hodnoty zatížení rámu pro MKP (tučně), všechny hodnoty v [N]



Obr. 15 Posunutí



Obr. 16 Součinitel bezpečnosti

Poznámka:

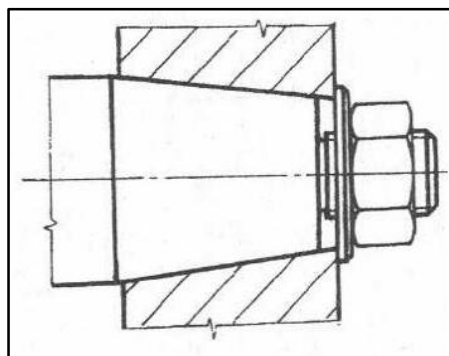
Bezpečnost je počítána k mezi kluzu materiálu 11 373, $\sigma_k=200\text{Mpa}$. Minimální hodnota bezpečnosti by měla být kolem $k=11$. Rám z hlediska bezpečnosti vyhovuje provozu.

2.2 Návrh spojovacího hřídele

2.2.1 Určení výstupu

Spojovací hřídel slouží k přenosu točivého momentu mezi motorem a dynamometrem. Tento hřídel musí odolávat silovému působení točivého momentu, torzním kmitům, úhlovým zrychlením a odstředivým silám. Odolnosti proti působení točivého momentu se dosáhne vhodnou průřezovou charakteristikou hřídele. Vložením pružných pryžových členů se dosáhne odolnosti proti torzním kmitům. Odstředivé síly lze omezit co nejmenším poloměrem hřídele nebo provozu v nižších otáčkách.

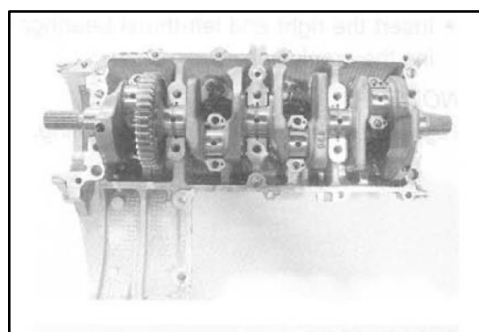
Nadále je třeba rozhodnout, kde se bude točivý moment odebírat. U automobilových motorů je vhodné spojit hnací hřídel přímo se setrvačником motoru, tedy v ose s klikovou hřídelí a měřit tak přímo výkonové parametry tohoto motoru. Lze vynechat převodovku a veškerá další převodová ústrojí. U motocyklů je konstrukce odlišná. Klikovou hřídel nelze od převodovky oddělit, jelikož se oba prvky nacházejí uvnitř jednoho karteru. Mezi nimi se nachází spojka, která je oproti automobilové mokrá a v olejové lázni. Motor lze provozovat pouze jako celek. Tedy převodovka, spojka a další prvky musí během měření zůstat na svém místě. Tato konstrukce je u motocyklového motoru ovšem pochopitelná,



protože motocykl je oproti automobilu mnohem kompaktnější vozidlo. Odebírání ze setrvačniku motoru také není možné. Setrvačnik slouží zároveň jako alternátor a je s klikovou hřídelí spojen kuželovým svěrným spojem (obr. 2.2.1). Tento spoj je dimenzován na přenos sil z alternátoru a není vhodné ho využívat pro přenos celkového výkonu motoru.

Obr. 17 Kuželový svěrný spoj [2]

Na druhé straně klikového hřídele se nachází inkrementální snímač polohy. Který je upevněn tvarovou vazbou v podobě drážkování a zajištěn šroubem M10 s podložkou. Rovněž toto místo není vhodné k odebírání plného výkonu motoru. Klikový hřídel zde má velmi malý průměr. Hlavní nevýhodou obou těchto způsobů je ovšem potřeba odstranění nebo upravení bočního víka motoru a tím obnažení olejové lázně a bylo by zapotřebí navrhnout utěsnění výstupu hřídele. Uvnitř motoru je odebírání točivého momentu řešeno přes čelní ozubená kola (obr. 2.2.2). Na tato ozubená kola také nelze namontovat výstupní hřídel.



Obr. 18 Pohled na ozubené kolo klikového hřídele [5]

Dalším požadavkem na výstupní hřídel jsou technické parametry dynamometru. Hlavním problémem jsou provozní otáčky tohoto zařízení. Stanoviště Schenck WT 190 je omezeno maximálními provozními otáčkami $10\,000\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$. Měřený motocyklový motor bude tuto hodnotu

otáček na klikové hřídeli zaručeně překračovat. Takto vysoké otáčky by i nezanedbatelně navýšily namáhání spojovacího hřídele odstředivou silou. Pro měření je zcela nutné zajistit redukci otáček.

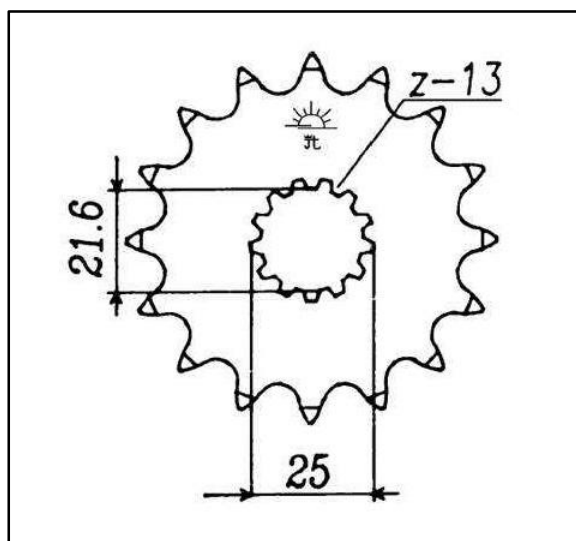
Z výše uvedených skutečností sem se rozhodl umístit spojovací hřídel na výstupní hřídel převodovky. Na této hřídeli se při provozu motocyklu nachází ozubené kolo sekundárního řetězového převodu. Výhodou tohoto způsobu je možnost volby až šesti redukčních převodů sestávajících z primárního převodu motoru a šesti rychlostních stupňů převodovky. Nevýhodou je zkreslené měření otáček a točivého momentu. Vzhledem k tomu, že není známa účinnost konkrétních převodových ústrojí, nebude naměřen přímo výkon motoru, ale výkon zmenšený o ztráty v převodovce.

Tabulka 2: převodové stupně, otáčky a výstupní moment

max. otáčky motoru 15000 ot.min ⁻¹		max. hnací moment 60Nm		
Primární převod	1,927	otáčky výstupu [ot.min ⁻¹]	odhadovaný moment na výstupu [Nm]	
1.	2,786	2795	322	
2.	2,053	3793	237	
3.	1,682	4629	194	
4.	1,450	5369	168	
5.	1,304	5968	151	
6.	1,182	6587	137	

Dle tohoto srovnání volím třetí převodový stupeň. Nachází se v rozumné oblasti jak otáček, tak hnacího momentu.

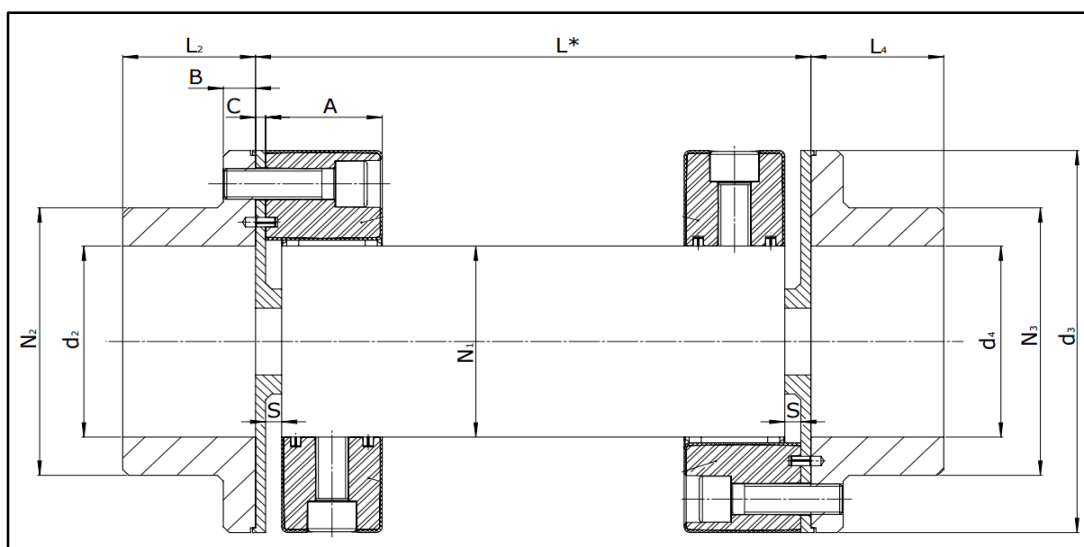
Výstupní hřídel převodovky je opatřen evolventním drážkováním pro spojení s řetězovým kolem (obr. 2.2.3). Zajištění je pomocí matice s podložkou. Abych se vyhnul problémům s výrobou tohoto drážkování, rozhodl sem se řetězové kolo upravit a zakomponovat ho do spojovacího hřídele. Spojení se nabízí buď svařením, nebo nalisováním. Svaření se nejeví jako vhodná varianta, protože jako materiál řetězového kola je uvedena ocel s vysokým obsahem uhlíku a povrchovou úpravou. Přesné označení materiálu není uvedeno zřejmě z důvodů výrobního tajemství. Vzhledem k nezaručitelnosti svaření bylo zvoleno spojení nalisováním. Tento spoj byl po konzultaci zesílen třemi kolíky průměru 10mm. Tím se k spoji nalisováním přidala ještě vazba tvarová. Řetězové kolo bylo broušeno na kulato s přesahem.



Obr. 19 Řetězové kolo

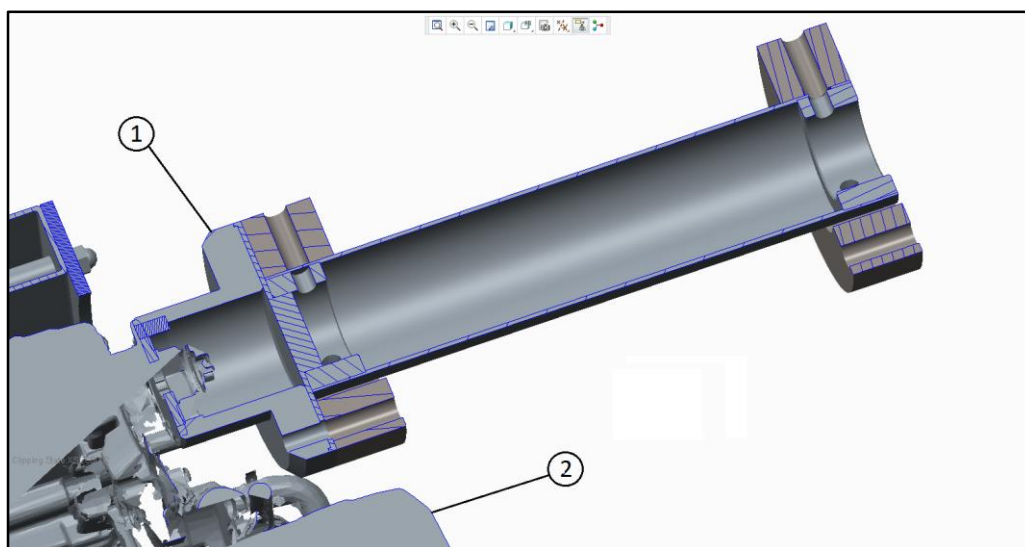
2.2.2 Konstrukce

Jako základ pro návrh hřídele byla použita spojka Centaflex dostupná v laboratořích TUL. Skládá se ze dvou pryžových kloubů, spojovací trubky průměru $N_1=85\text{mm}$ a dvou centrovacích táců. Spojení mezi klouby a trubicí je provedeno radiálním šroubovým spojem a spojení mezi klouby a čely spojovaných hřídelů axiálním šroubovým spojem. K aplikaci na měřený motor je třeba vyrobit spojení mezi pryžovým kloubem a řetězovým kloubem. A z prostorových důvodů bude vyrobena o 110mm delší spojovací trubka.



Obr. 20 Náčrt spojovacího hřídele Centaflex

Návrh spojení pryžového kloubu a řetězového kola byl proveden v softwaru Creo Parametric 2.0. Je zde použito spojení nalisováním a šroubový spoj se třemi šrouby M14 dělenými rovnoměrně na kružnici průměru 140mm. Parametry šroubového spoje vychází ze spojovacího hřídele Centaflex. Při návrhu modelu příruby bylo třeba kontrolovat kolize s různými částmi motoru jako hadice od vodní pumpy nebo hřídel řazení. Bylo navrženo nejkompaktnější možné řešení, které nevykazovalo žádné kolize.



Obr. 21 Řez modelem spojovacího hřídele: 1 – příruba; 2 – skan motoru;



Obr. 22 Obroušené řetězové kolo



Obr. 23 Hotová příruba spojovacího hřídele se zalisovaným řetězovým kolem

Původní spojovací trubka měla délku 380mm, dle modelu byla navržena trubka o 110mm delší. Tato trubka vyhovovala původnímu požadavku o zachování pozic profilů a stavěcích nohou. Jedná se o tenkostěnnou trubku vnějšího průměru 85mm, zesílenou v místech šroubových spojů nalisovaným silnostěnným kroužkem se závity. Síla stěny trubky je 1,5mm. Trubka byla zadána do výroby, ovšem nebylo možné sehnat polotovary průměru 85mm s ohledem na rozumnou cenu. Trubka byla vyrobena z běžného polotovaru průměru 89mm a silou stěny 4mm. Vnější průměr byl obroben na soustruhu na požadovaných 85mm a otvory pro zalisování kroužků se závity byly frézovány pětiosým obráběním. Bohužel takto vyrobená trubka nesplňovala požadované tolerance ani na průměru ani na kruhovitosti otvorů pro zalisování. Už jen samotný fakt že se jednalo o svařovaný polotovar, vyvolal značné znepokojení a trubka nebyla použita. Nakonec byla opuštěna celá myšlenka o prodloužení původní spojky Centaflex. Ta byla použita bez úprav. Jako alternativa byly posunuty stavěcí nohy i s podpěrnými profily o 110mm blíže k dynamometru. Kvůli tomuto přesunutí bylo třeba odmontovat původní motorovou elektroinstalaci, která se nacházela u dynamometru. Kvůli této úpravě bylo později nutné spouštět motor manuálně přímo v elektroinstalaci motocyklu. Po provedení všech těchto úprav byl spojovací hřídel připraven k použití.



Obr. 24 Prodloužená trubka obrobená ze svařovaného polotovaru

2.2.3 Kontrolní výpočet v místě s nejmenším průřezem

81kW.....	výkon udávaný výrobcem motoru při 13 000ot.min ⁻¹	[P]
3,241.....	celkový převod pro třetí rychlostní stupeň	[i]
90mm.....	vnější průměr příruby	[D]
70mm.....	vnitřní průměr příruby	[d]
50Mpa.....	dovolené napětí v krutu pro míjivý krut mat. 11 370	[τ _{Dk}]

$$M_k = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi n} = \frac{81000.60}{2\pi \cdot 13000} = 59,5Nm$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} < \tau_{Dk}$$

$$M_{k3} = 59,5 \cdot 3,241 = 192,8Nm$$

$$W_k = \frac{\pi D^3}{16} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right) = \frac{\pi 90^3}{16} \left(1 - \frac{70^4}{90^4}\right) = 90\,757mm^3$$

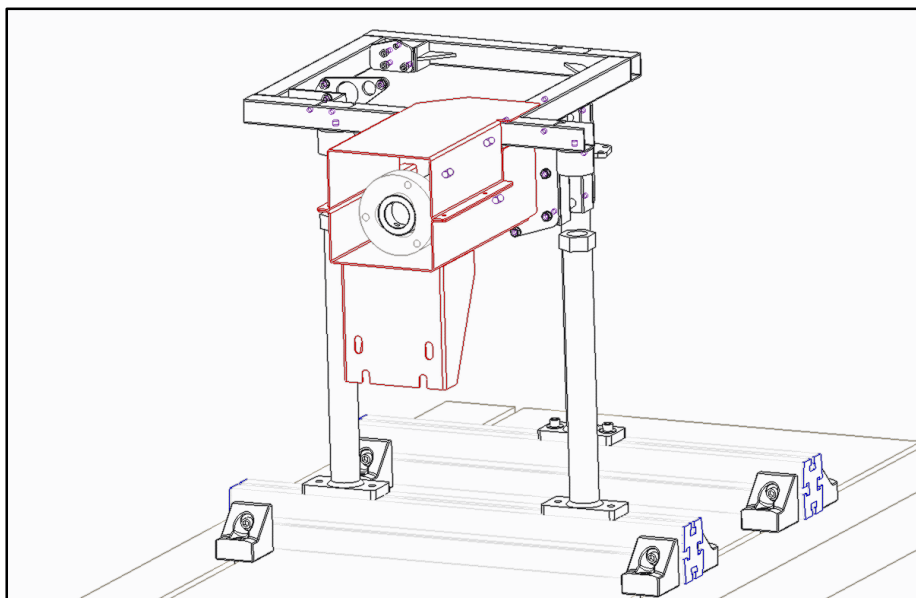
$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{192,8 \cdot 10^3}{90\,757} = 2,12Mpa$$

$$k = \frac{\tau_{Dk}}{\tau_k} = \frac{50}{2,12} = 23,6$$

Bezpečnost pro provoz je dle výpočtu vysoká. Výkresová dokumentace [II.] se nachází v příloze.

2.3 Ochranný kryt spojovacího hřídele

Ochranný kryt slouží k zachycení částí a úlomků spojovacího hřídele v případě jeho mechanického porušení. Kvůli posunutí rámu blíže k motorové brzdě a zapuštění spojovacího hřídele do struktury rámu bylo zapotřebí navrhnout upravený ochranný kryt. Původní nevyhovoval z důvodu kolize s krytem alternátoru motoru. Návrh spodní části byl proveden jako svařenec dvou ohýbaných plechů z materiálu síly 3mm. Spodní část se šroubuje přímo do bloku motorové brzdy. Horní část je pouze ohýbaný plech a je šroubovým spojem se čtyřmi šrouby připevněna ke spodní části.



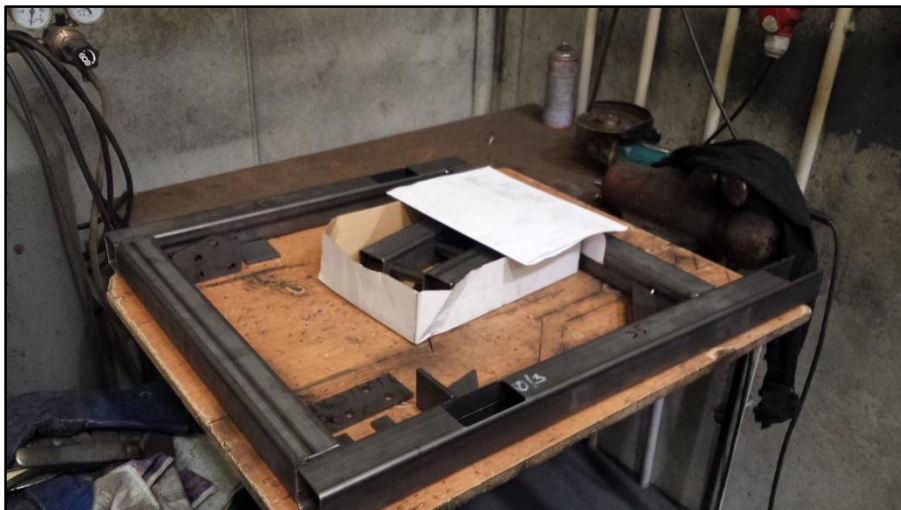
Obr. 25 Model ochranného krytu

Horní část krytu měla nad rámem příliš velký přesah a malou vůli. V otáčkách kolem 2000ot.min^{-1} a 7000ot.min^{-1} docházelo k rezonancím, které se projevíly zvýšeným hlukem. Úprava by byla možná podložním pryžovým materiálem nebo přidáním šroubového spoje. Úpravy nebyly provedeny, provoz zařízení nebyl tímto nedostatkem nijak zásadně negativně ovlivněn. Výkresová dokumentace [III.] k ochrannému krytu se nachází v příloze.

3 Příprava na měření

3.1 Výroba rámu

Rám je vyroben dle výkresové dokumentace [I.] z profilů 50x50-3mm ze svařitelné oceli a z výpalků z materiálu St52. Pro lepší vzhled je rám nastříkán černou barvou.



Obr. 26 Příprava na svařování



Obr. 27 Rám po svaření a nabarvení



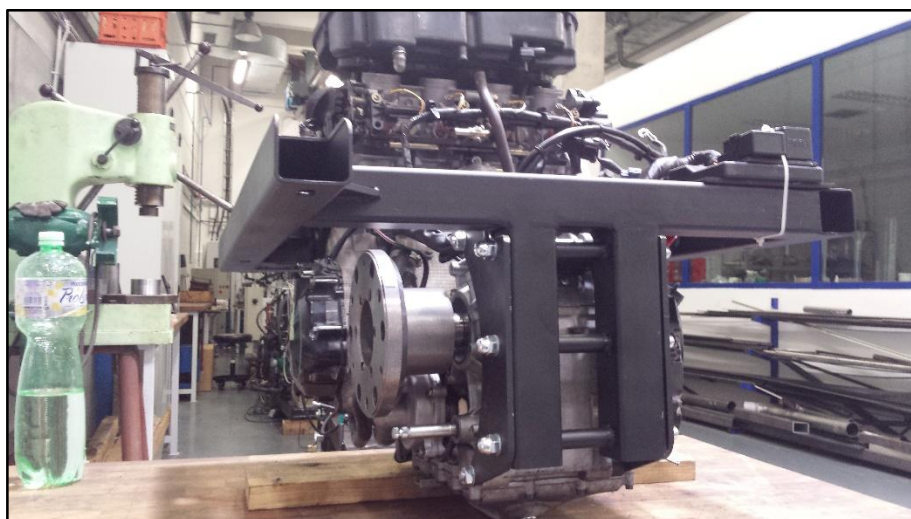
Obr. 28 Motor namontovaný v rámu

3.2 Výroba příruby spojovacího hřídele

Příruba je vyrobená dle výkresové dokumentace [II.], je do ní zalisováno zbrúšené řetězové kolo. Poté je osazena na motor a dotažena maticí k výstupní hřídeli převodovky.



Obr. 29 Příruba spojovacího hřídele



Obr. 30 Příruba na výstupním hřídeli

Spojovací hřídel bude montován až po ustavení motoru s rámem na motorové brzdě. Při montáži chyběla aretace hřídele. Všechny šrouby byly utahovány přes první převodový stupeň převodovky. Závity byly zajištěny lepidlem proti uvolnění.

3.3 Příprava senzorů na měření

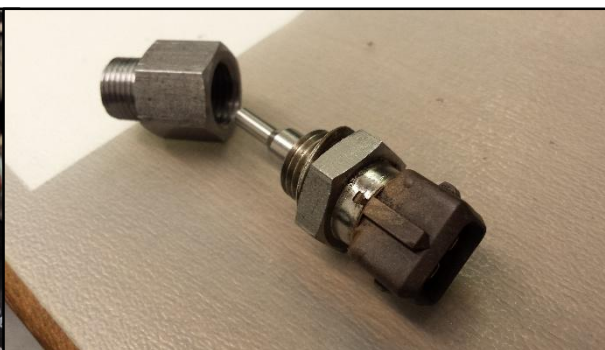
Hlavní měřenou veličinou bude točivý moment motoru v závislosti na otáčkách. Z těchto dvou veličin bude vypočítán výkon. Mimo tyto základní veličiny budou měřeny ještě další parametry:

Tlak oleje..... [bar]	sensor tlaku s rozsahem do 10bar
Teplota oleje..... [°C]	termistor
Tlak paliva..... [bar]	sensor tlaku s rozsahem do 10bar
Teplota paliva [°C]	termistor
Hodinová spotřeba paliva..... [kg/h]	průtokoměr
Tlak výstupního chladícího média..... [bar]	sensor tlaku s rozsahem do 10bar
Teplota výstupního chladícího média [°C]	termistor
Tlak vstupního chladícího média..... [bar]	sensor tlaku s rozsahem do 10bar
Teplota vstupního chladícího média..... [°C]	termistor
Průtok chladícího média..... [l/min]	průtokoměr
Teplota ve výfukovém potrubí..... [°C]	termočlánek
Teplota v odsávání výfukových spalin..... [°C]	termočlánek
Lambda výfukových plynů..... [-]	automobilová lambda sonda
Teplota v místnosti..... [°C]	termistor
Podtlak v sání motoru..... [mbar]	sensor tlaku s rozs. do 400mbar
Teplota v sání motoru..... [°C]	termistor
Podtlak v klikové skříni..... [mbar]	sensor tlaku s rozs. do 400mbar

Pro připojení senzorů k motoru byly vyrobeny průchodky. Jedná se většinou o závitové redukce. U chladícího okruhu o redukce mezi různými průměry hadic, do kterých jsou senzory šroubované.



Obr. 31 Hadicová redukce



Obr. 32 Měření teploty oleje (nahrazuje šroub vypouštění oleje)



Obr. 34 Měření tlaku oleje (měřeno pod klikovou hřídelí, hned za olejovým čerpadlem)

Obr. 35 Měření teploty spalin a hodnoty lambda



Obr. 33 Měření podtlaku v klikové skříni (nahrazuje šroub pro nalévání oleje)

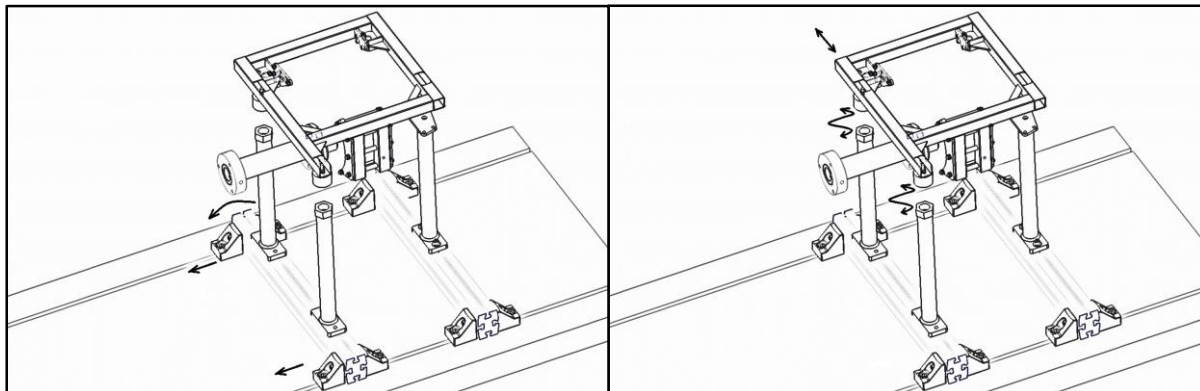
3.4 Vyrovnání rámu vůči motorové brzdě

Pro zajištění co nejmenšího namáhání spojovacího hřídele bylo zapotřebí zajistit sousost výstupního hřídele převodovky s hřídelí dynamometru. Dalším požadavkem bylo zajištění rovnoběžnosti čelních rovin nábojů, přičemž bylo třeba zajistit danou vzdálenost obou nábojů. Její hodnota je 400mm. Vyrovnání sousosti a rovinnosti bylo provedeno s úchylkou do 0,3mm. Vyrovnání vzdálenosti s odchylkou do 0,5mm.



Obr. 36 Vyrovnání pomocí úchylkoměru

Nejdříve byla vyrovnána rovnoběžnost posouváním a natáčením podstavných profilů blíže či dále v drážkách základní desky. Poté souosost posouváním rámu v oválných drážkách. A nakonec výškové vyrovnání a sklon vyšroubováním podstavných nohou. Postup bylo třeba provést přibližně třikrát, jelikož nastavení jednoho parametru ovlivní parametry další. Před finálním dotažením všech spojů bylo nastavení ještě jednou překontrolováno a byl namontován spojovací hřídel.



Obr. 37 Znáznornění vyrovnání rámu

3.5 Další příprava

Pro možnost spouštění motoru se zařazenou rychlostí, byla upravena elektroinstalace permanentním ukostřením čidla neutrálu. Dále bylo umístěno čidlo pro měření podtlaku ve filtrboxu. Ovládání plynu bylo provedeno ocelovým lankem v bowdenu o délce 5 metrů. Ovládání bylo umístěno u operátora a bylo opatřeno aretací na 100% otevření škrtecí klapky. K proudění vzduchu kolem motoru byly rozestavěny chladicí ventilátory.



Obr. 38 Chladicí ventilátor [3]

4. Měření

Měření probíhalo přes převodovku na třetí rychlostní stupeň. Celkový převod je roven součinu převodu primárního a převodu třetího stupně převodovky.

$$i = i_{prim} * i_3 = 1,927 * 1,682 = 3,241$$

Měření tedy vykazovalo větší moment a nižší otáčky než byly na klikové hřídeli. Byl zvolen krok po 500ot.min⁻¹ na klikové hřídeli, do programu měření bylo nutné přepočítat požadované otáčky poměrem „i“.

Tabulka 3: Přepočet otáček motorové brzdy

požadované otáčky klikového hřídele	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	10500	11000	11500	12000	12500	13000	13500	14000	14500
požadované otáčky motorové brzdy	463	617	771	926	1080	1234	1388	1543	1697	1851	2005	2160	2314	2468	2622	2777	2931	3085	3240	3394	3548	3702	3857	4011	4165	4319	4474

Měřena byla vnější momentová charakteristika motoru. Pozice klapky byla tedy vždy na hodnotě 100%. Veškeré měřené parametry byly ukládány přibližně po jedné sekundě a každou minutu z nich byla vypočítána průměrná hodnota. Po vypočítání průměrných hodnot byly otáčky klikové hřídele motoru zvýšeny o 500ot.min⁻¹ kde se opakovalo totéž měření. Celý test zabral přibližně 30min.

4.1 Měření č. 1

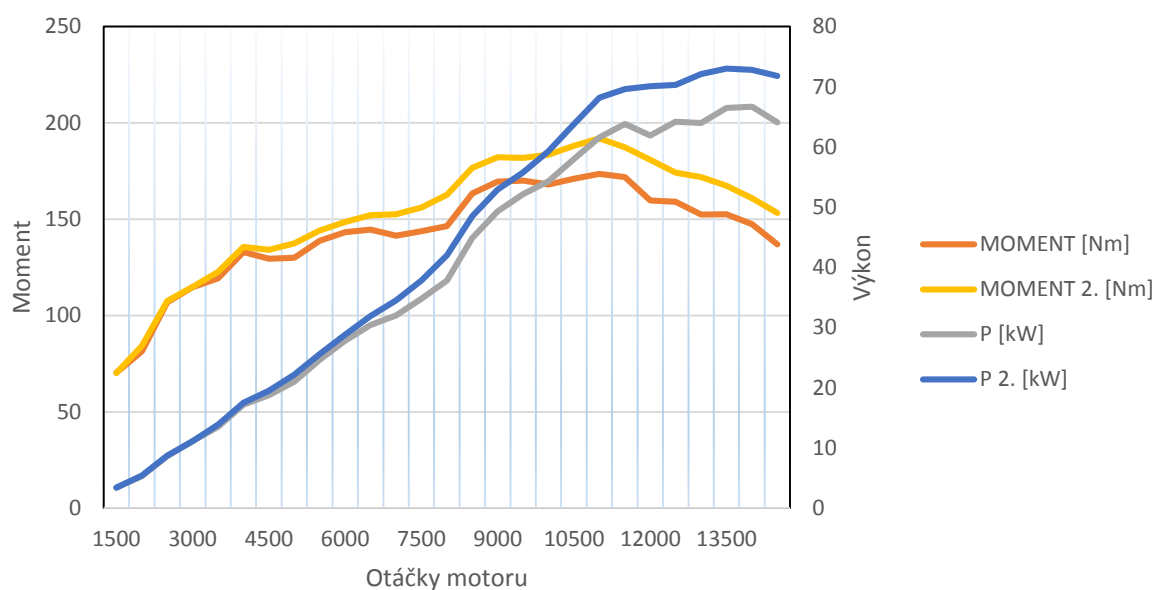
První měření proběhlo s regulátorem tlaku paliva 4bar. Výrobce motoru uvádí použití regulátoru tlaku na 3bar. Motor, nemá vlastní lambda sondu, tedy řídicí jednotka nezískává informace o obsahu kyslíku ve výfukových plynech a není schopna regulovat bohatost směsi. Výsledkem byla příliš bohatá směs dle měření externí lambdou a také zvýšená spotřeba. Motor nicméně nevykazoval problematický chod v žádných otáčkách a test byl dokončen úspěšně.

Na grafech je u hodnoty 12 500ot.min⁻¹ viditelné vybočení tvaru křivky od očekávaného průměru. V těchto otáčkách došlo k přetečení mezi daných v programu motorové brzdy. Motor běžel asi 6 sekund v omezovači otáček, což se projevilo na měřených veličinách, především na tlaku a teplotě oleje.

4.2 Měření č. 2

Druhé měření proběhlo s regulátorem paliva 3bar a s tlumičem výfuku. Byla zaznamenána výrazně nižší spotřeba a také vyšší maximální hodnoty točivého momentu a výkonu. Kvůli tlumiči vzrostly teploty ve výfukovém potrubí. Tato měření jsou v legendě označena pořadovým číslem „2.“. U měření teploty oleje jsou vysoké hodnoty, pravděpodobně došlo k poškození snímače teploty.

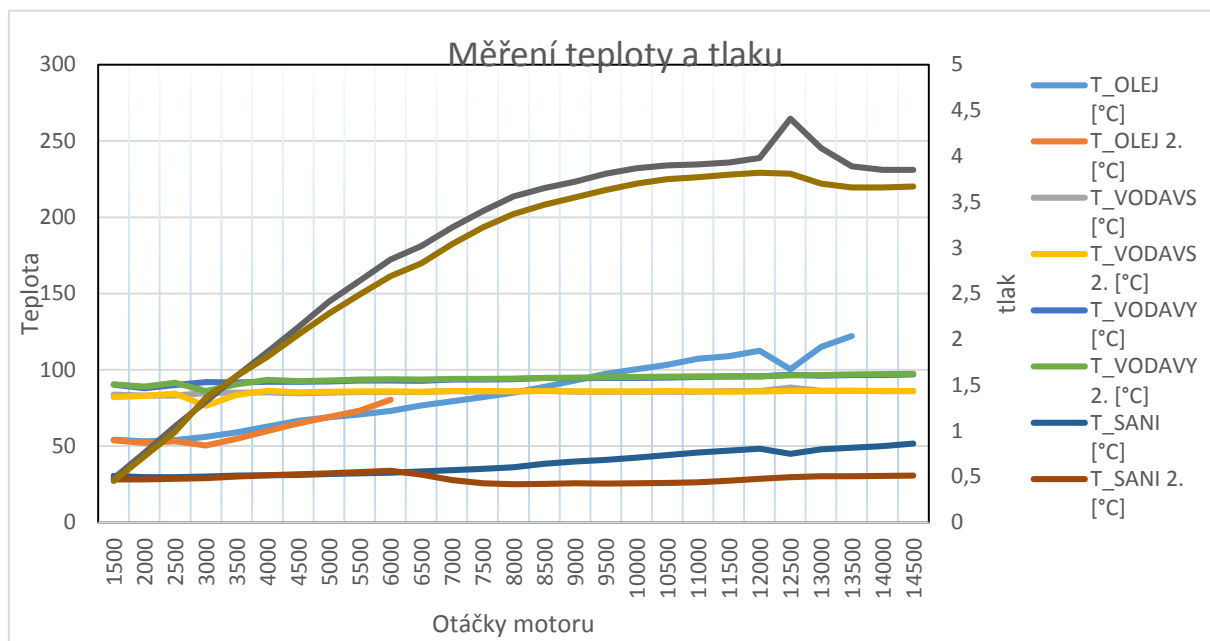
Graf vnější momentové charakteristiky a výkonu



Graf 1: Vnější momentová charakteristika a výkon

Tabulka 4: Vstupní data pro Graf 1

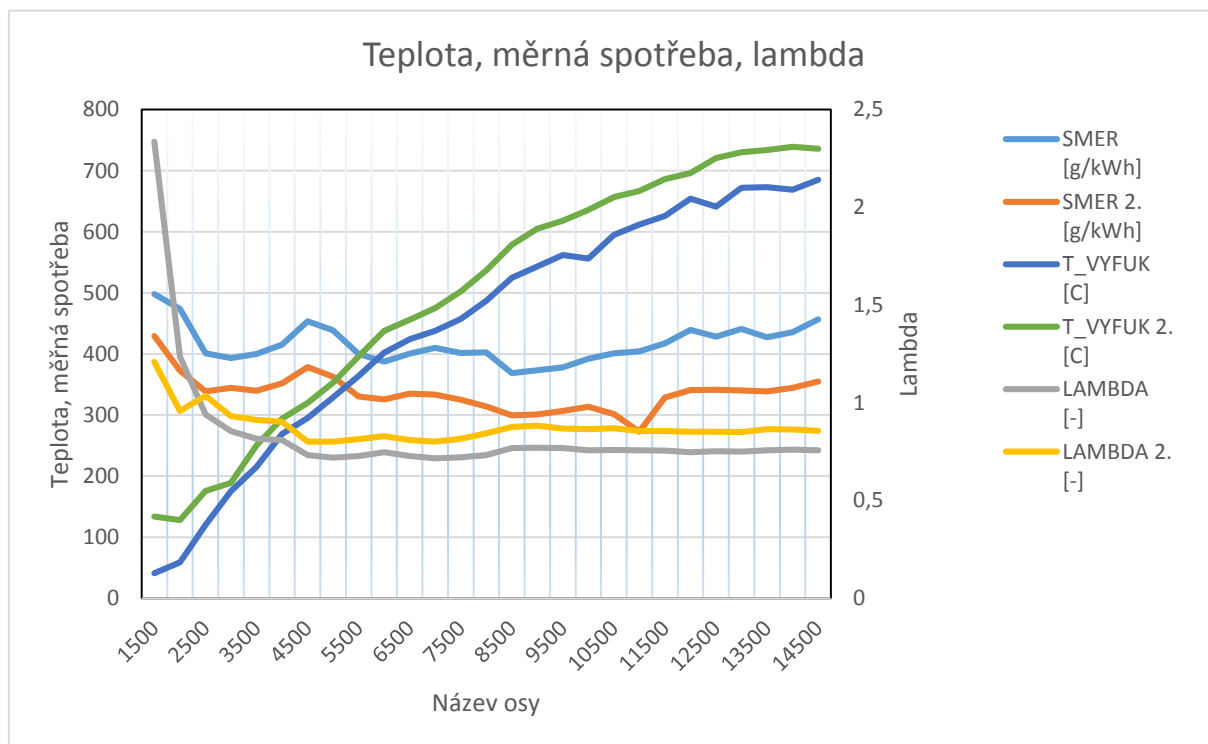
OTÁČKY mot. [1/min]	MOMENT [Nm]	P [kW]	MOMENT 2. [Nm]	P 2. [kW]
1497	70,3	3,4	70,10	3,40
2000	81,5	5,3	84,20	5,40
2499	106,9	8,6	107,50	8,70
2998	114,7	11,1	114,80	11,10
3497	119,4	13,5	122,70	13,90
4000	132,9	17,2	135,60	17,50
4499	129,5	18,8	134,10	19,50
4998	130	21	137,50	22,20
5500	138,7	24,6	144,10	25,60
5999	143,3	27,8	148,60	28,80
6499	144,6	30,4	152,00	31,90
6998	141,4	32	152,50	34,50
7497	143,7	34,8	156,10	37,80
7999	146,4	37,8	162,70	42,00
8498	163,4	44,9	176,70	48,50
8998	169,6	49,3	182,10	52,90
9500	170	52,2	181,90	55,80
9999	168,1	54,3	183,50	59,30
10498	171	58	188,10	63,80
10997	173,5	61,6	191,90	68,20
11500	171,8	63,8	187,30	69,60
11999	159,8	61,9	180,90	70,10
12498	159,1	64,2	174,20	70,30
12997	152,4	64	171,80	72,10
13500	152,5	66,5	167,40	73,00
13999	147,5	66,7	160,90	72,80
14498	136,9	64,1	153,20	71,80



Graf 2: Měření teploty a tlaku

Tabulka 5: Vstupní data pro Graf 2

OTACKY mot [1/min]	T_OLEJ [°C]	T_OLEJ 2. [°C]	T_VODAVS [°C]	T_VODAVS 2. [°C]	T_VODAVY [°C]	T_VODAVY 2. [°C]	T_SANI [°C]	T_SANI 2. [°C]	P_OLEJ [bar]	P_OLEJ 2. [bar]
1497	54,1	53,80	83,8	82,10	90,2	90,50	30,5	28,20	0,48	0,45
2000	53,1	52,00	83,1	82,90	87,9	89,00	29,6	28,10	0,76	0,72
2499	54	53,00	83,1	84,30	90	91,60	29,5	28,50	1,05	0,99
2998	56	50,40	84,8	76,50	91,9	86,00	30,1	28,90	1,32	1,36
3497	58,9	54,80	84,9	83,50	91,8	90,40	30,7	30,00	1,6	1,60
4000	62,8	59,80	85,2	86,20	92,1	93,30	30,9	30,90	1,86	1,81
4499	66,6	64,90	84,6	85,30	92,1	92,50	31,1	31,50	2,13	2,05
4998	68,8	69,00	85	85,60	92,4	93,00	31,7	32,10	2,41	2,28
5500	70,7	73,30	85,4	85,90	93	93,70	32,1	32,90	2,64	2,49
5999	73,1	80,30	85,5	85,80	93	93,80	32,6	33,70	2,87	2,69
6499	76,7		85,4	85,70	92,8	93,70	33,3	31,20	3,02	2,83
6998	79,4		86	86,10	93,5	94,00	34,3	27,70	3,22	3,04
7497	82,1		85,7	86,00	93,6	94,00	35,1	25,70	3,4	3,22
7999	85		85,8	85,90	93,8	94,20	36,1	25,00	3,56	3,37
8498	88,7		86,2	86,00	94,6	94,70	38,4	25,10	3,65	3,47
8998	93		85,7	85,90	94,4	94,90	39,8	25,60	3,72	3,55
9500	97,3		85,7	85,90	94,6	95,00	41	25,50	3,81	3,63
9999	100,3		85,7	85,90	94,7	95,20	42,3	25,60	3,87	3,70
10498	103,3		85,6	86,10	94,9	95,50	44	25,80	3,9	3,75
10997	107,3		85,7	85,90	95,2	95,60	45,8	26,30	3,91	3,77
11500	108,9		86,1	85,60	95,7	95,50	47,1	27,30	3,93	3,80
11999	112,4		86	85,80	95,8	95,80	48,3	28,60	3,98	3,82
12498	100,4		88,3	86,10	96,8	96,40	45	29,60	4,41	3,81
12997	115,1		86,3	86,10	96,2	96,60	47,8	30,20	4,09	3,70
13500	122,1		86,2	86,10	96,5	96,90	48,9	30,20	3,89	3,66
13999			86	86,10	96,6	97,20	49,9	30,40	3,85	3,66
14498			86	86,10	96,9	97,30	51,6	30,70	3,85	3,67



Graf 3: Teplota, měrná spotřeba, lambda

Tabulka 6: Vstupní data pro Graf 3

OTACKY mo- toru[1/min]	SMER [g/kWh]	SMER 2. [g/kWh]	LAMBDA [-]	LAMBDA 2. [-]	T_VYFUK [C]	T_VYFUK 2. [C]
1497,44	497,9	429,30	2,336	1,21	41	134,00
1999,83	473,9	372,80	1,237	0,96	59	128,00
2498,98	401,3	338,50	0,94	1,04	120	176,00
2998,12	393	344,60	0,856	0,93	175	189,00
3497,27	400	340,00	0,816	0,91	215	250,00
3999,66	415,5	351,80	0,809	0,90	269	294,00
4498,81	453,7	378,80	0,732	0,80	295	320,00
4997,95	438,9	362,90	0,72	0,80	329	353,00
5500,34	400,2	330,20	0,728	0,82	364	396,00
5999,49	387,5	325,70	0,747	0,83	402	438,00
6498,63	400,7	335,20	0,728	0,81	424	456,00
6997,78	410	333,40	0,716	0,80	438	475,00
7496,93	401,8	325,00	0,722	0,82	457	502,00
7999,32	402,6	314,00	0,732	0,84	487	537,00
8498,46	368,4	299,20	0,769	0,88	525	579,00
8997,61	373,3	301,10	0,771	0,88	543	605,00
9500,00	378	306,70	0,768	0,87	562	618,00
9999,15	392,1	313,70	0,758	0,87	556	636,00
10498,29	401	301,72	0,759	0,87	595	657,00
10997,44	404,2	272,50	0,757	0,86	612	667,00
11499,83	417,1	328,80	0,756	0,86	626	686,00
11998,97	439,6	340,60	0,748	0,85	654	696,00
12498,12	428,4	341,40	0,752	0,85	641	721,00
12997,27	441,1	340,30	0,75	0,85	672	730,00
13499,66	427,1	338,60	0,758	0,87	673	734,00
13998,80	435,5	344,30	0,761	0,86	669	739,00
14497,95	456,6	355,20	0,757	0,86	685	736,00

5. Závěr

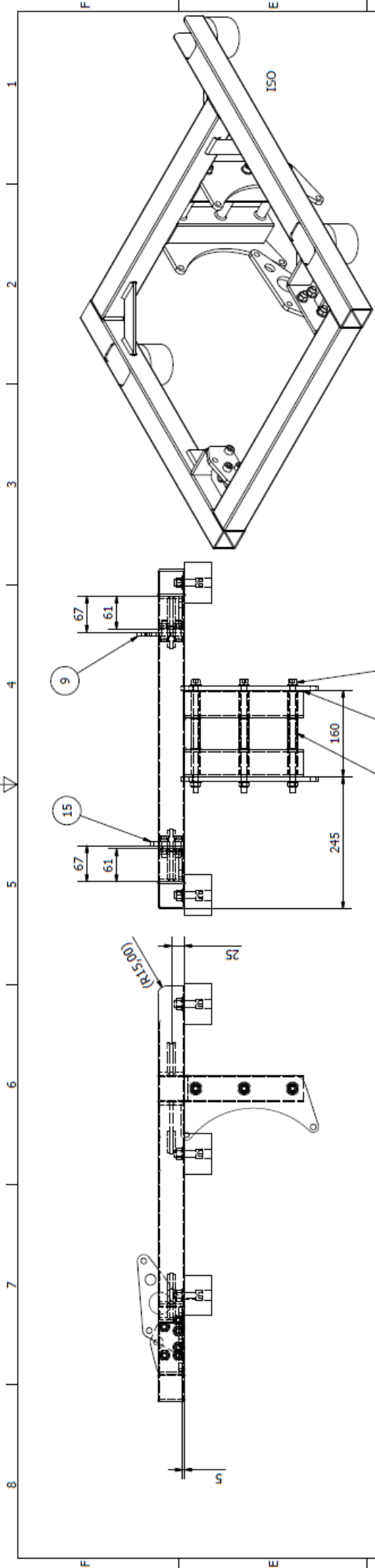
Cílem této bakalářské práce bylo upevnění motocyklového motoru ke standardnímu brzdovému stanovišti. Konstrukční řešení mělo být ověřeno měřením základních výkonových parametrů motoru.

Navržené konstrukční provedení se osvědčilo jako funkční. Rám pro motor byl stabilní a vyrovnání vůči dynamometru bylo provedeno v požadovaných mezích. Kvůli vysokému hluku bylo třeba dodatečně přidělat tlumič výfuku, s kterým nebylo ze začátku počítáno. Tlumič neměl negativní vliv na průběh výkonu motoru, pouze lehce zvýšil teplotu výfukového potrubí. Zásadní vliv na výkon měl tlak paliva, původní regulátor na 4bar přehlcoval motor palivem, které nebylo využito. Očekával jsem lepší výsledky s vyšším tlakem paliva, ovšem to se neodrazilo v měření. Motor nebyl kvůli absenci lambda sondy schopen vyšší tlak paliva využít.

Na tomto brzdovém stanovišti následuje doladování motoru pro motoristickou soutěž Formule Student. Tento motor bude použit ve studentské motoristické soutěži Student Formula SAE jejíž pravidla umožňují použít pohonnou jednotku do objemu 600ccm a restriktorem sání pro všechny válce dohromady do maximálního průměru 20mm s palivem N95. Jiná omezení například pro výstupní parametry motoru nejsou. Jelikož motor je v sériovém stavu osazen čtyřmi škrticemi klapkami o průměru 36mm, bude tento restriktor razantním zásahem do funkční části agregátu. Aby motor fungoval správně, je třeba příslušně upravit i jiné jeho části. Změny proběhnou na celém sacím systému, výfukovém systému, jiná bude řídicí jednotka zapalování a jednotka vstříkávání. Změny na chladicím systému ani na dalších částech nebudou provedeny, jelikož se počítá se snížením výkonu oproti sériovému stavu. Všechny tyto změny bude třeba odladit na měřicím stanovišti. To je ale již nad rámec této bakalářské práce.

Seznam použité literatury

- [1] VLK, F. *Teorie a konstrukce motocyklů*, 1. vydání, Brno: František Vlk, 2004, ISBN 80-239-1601-7
- [2] PEŠÍK, L.: *Části strojů (Machine Elements)*. 1. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4
- [3] RAMPÁČEK, Bernard. *Měření výkonu motocyklu*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství.
- [4] MEDUNA, Martin. *Modernizace brzdového stanoviště pro osobní automobily*. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství.
- [5] Suzuki GSX-R 600 K4 Service Manual
- [6] PLÍVA, Z., J. DRÁBKOVÁ, J. KOPRNICKÝ a L. PETRŽÍLKA. *Metodika zpracování bakalářských a diplomových prací*. 2. upravené vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, FM, 2014. ISBN 978-80-7494-049-1.



Svařit

POZICE	KS	KUSOVNÍK ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS
1	1	JAKL_50X50-605	
2	2	JAKL_50X50-530	
3	1	JAKL_50X50-750	
4	3	ZEBRO_1	VÝPALEK
5	2	ZEBRO_2	VÝPALEK
6	1	UCHYT130_DIRY	VÝPALEK
7	2	UCHYT167	VÝPALEK
8	1	UCHYT130_VYZTUHA	VÝPALEK
9	1	RAM_PLECH_4_5	VÝPALEK
10	6	ISO 4762 - M10 x 30	Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem
11	12	ISO 7089 - 10 - 140 HV	Ploché podložky - normální série - výrobní řada A
12	9	ISO 4032 - M10	Šestihranné matice, styl 1 - výrobní řada A a B
13	1	UCHYT100_DIRY	VÝPALEK
14	1	UCHYT100_VYZTUHA	VÝPALEK
15	1	RAM_PLECH_5	VÝPALEK
16	2	JAKL_50X30-200	
17	3	TRUBKA_D18-154	
18	2	RAM_PLECH_ZADNI	VÝPALEK
19	3	ANSI B18.3.1M - M10x1,5 x 200	Kovany šroub s hlavou s vnitřním vybráním - Mětrický
20	3	silentblok_předni_nohy	NEVYRÁBÍ SE
21	3	Šroub s válcovou hlavou ISO 4762 - M12 x 40	Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem
22	3	ISO 7089 - 12 - 140 HV	Ploché podložky - normální série - výrobní řada A
23	3	ISO 4032 - M12	Šestihranné matice, styl 1 - výrobní řada A a B

Designed by S12000162

Checked by _____

Approved by _____

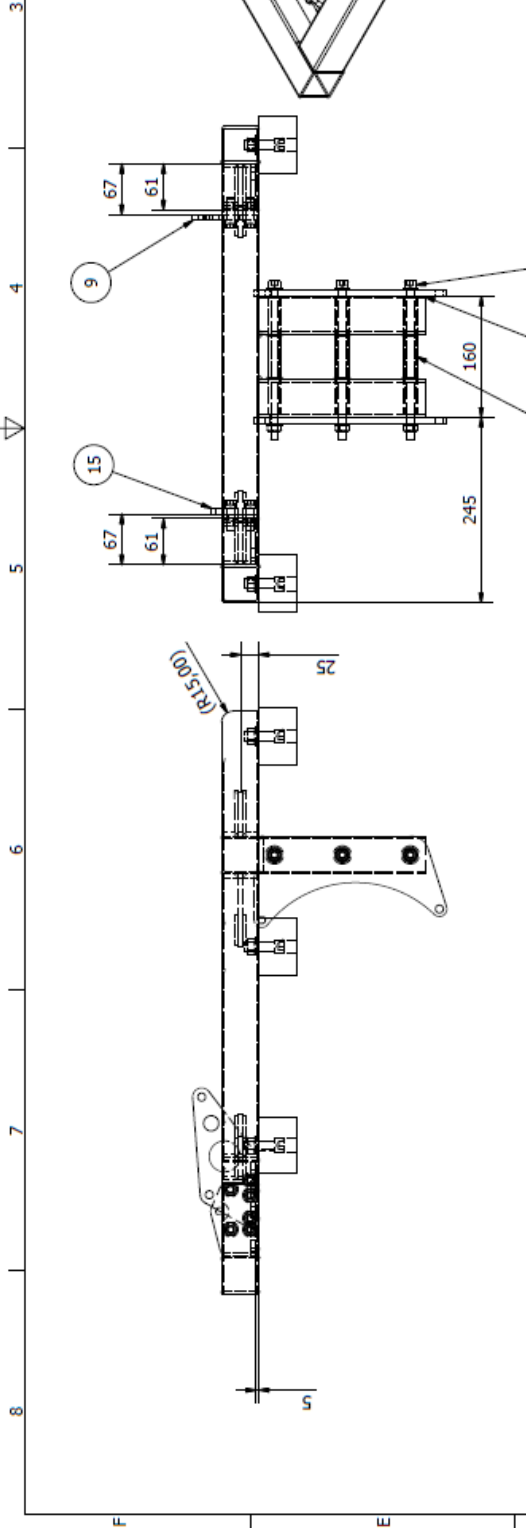
Date 11.4.2016

Scale 1:1.5

pro potřeby KVM

Sestava rámu

Sheet 1 / 1



Svařit

POZICE	KS	KUSOVNÍK ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS
1	1	JAKL_50X50-605	
2	2	JAKL_50X50-530	
3	1	JAKL_50X50-750	
4	3	ZEBRO_1	VÝPALEK
5	2	ZEBRO_2	VÝPALEK
6	1	UCHYT130_DIRY	VÝPALEK
7	2	UCHYT167	VÝPALEK
8	1	UCHYT130_VYZTUHA	VÝPALEK
9	1	RAM_PLECH_4_5	VÝPALEK
10	6	ISO 4762 - M10 x 30	Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem
11	12	ISO 7089 - 10 - 140 HV	Ploché podložky - normální série - výrobní řada A
12	9	ISO 4032 - M10	Šestihranné matice, styl 1 - výrobní řada A a B
13	1	UCHYT100_DIRY	VÝPALEK
14	1	UCHYT100_VYZTUHA	VÝPALEK
15	1	RAM_PLECH_5	VÝPALEK
16	2	JAKL_50X30-200	
17	3	TRUBKA_D18-154	
18	2	RAM_PLECH_ZADNI	VÝPALEK
19	3	ANSI B18.3.1M - M10x1,5 x 200	Kovany šroub s hlavou s vnitřním vybráním - Mětrický
20	3	silentblok_předni_nohy	NEVYRÁBÍ SE
21	3	Šroub s válcovou hlavou ISO 4762 - M12 x 40	Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem
22	3	ISO 7089 - 12 - 140 HV	Ploché podložky - normální série - výrobní řada A
23	3	ISO 4032 - M12	Šestihranné matice, styl 1 - výrobní řada A a B

Designed by S12000162

Checked by _____

Approved by _____

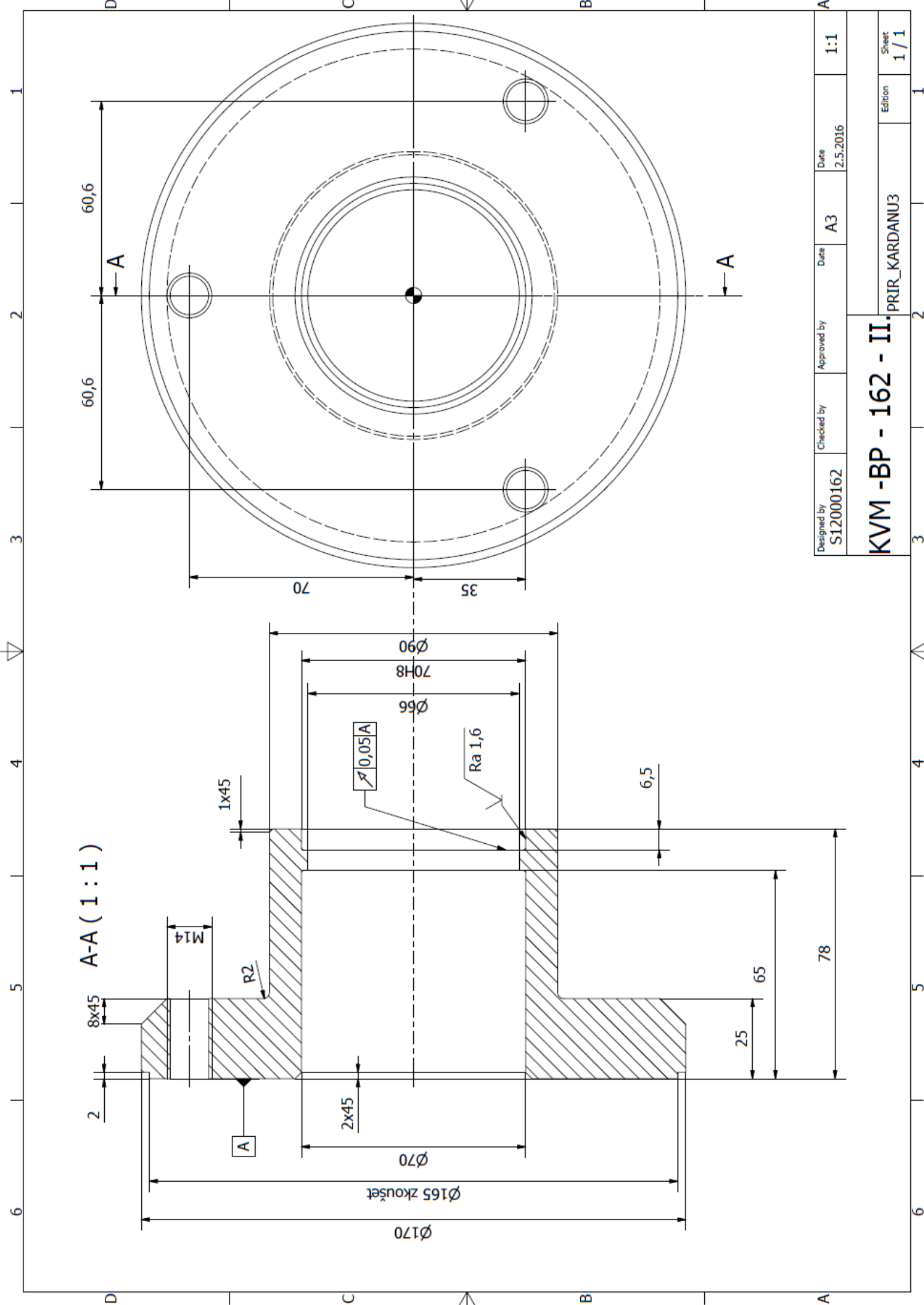
Date 11.4.2016

Scale 1:1.5

pro potřeby KVM

Sestava rámu

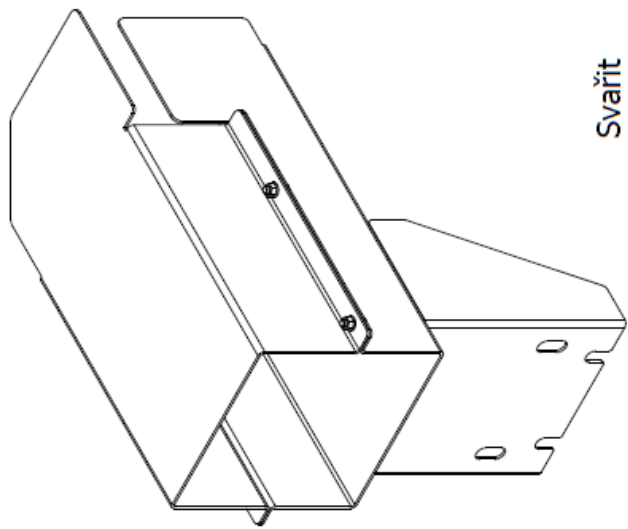
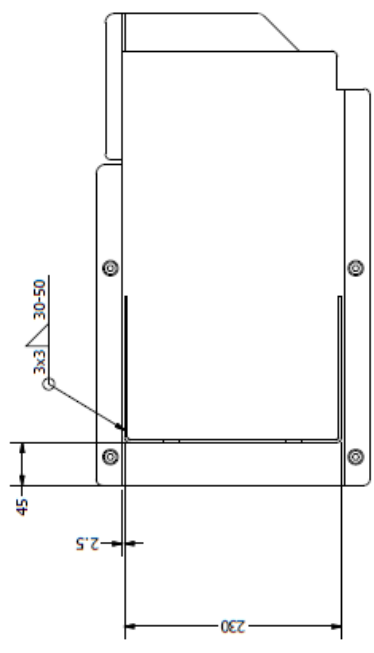
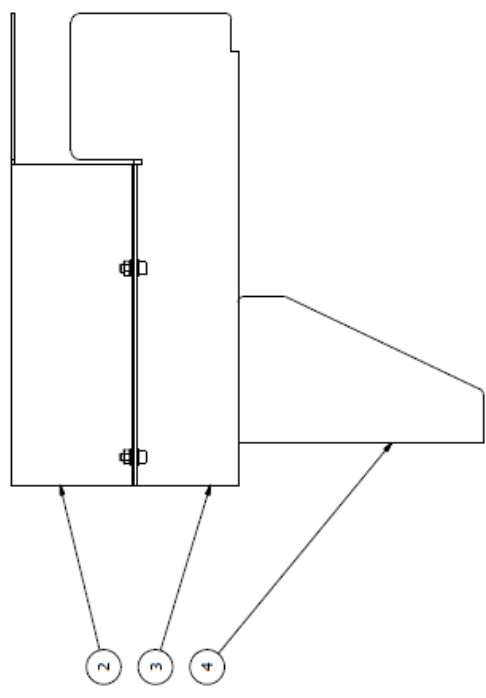
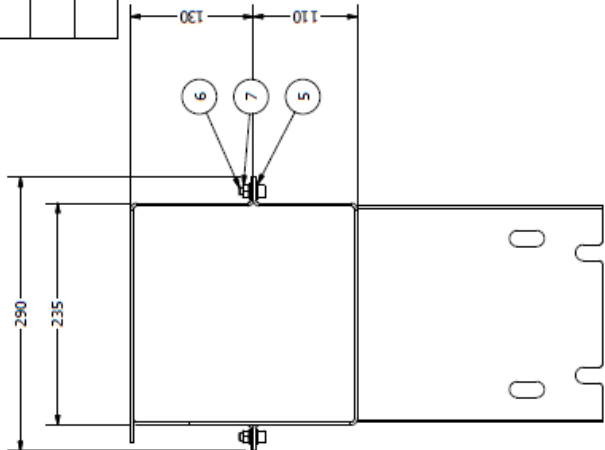
Sheet 1 / 1



A-A (1:1)

Designed by S12000162	Checked by	Approved by	Date A3	Date 2.5.2016	1:1
KVM -BP - 162 - II.			PRIR_KARDANU3	Edition 1/1	Sheet 1/1

KUSOVNÍK		POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS
		2	1	kryt_vrchni	
		3	1	KRYT_SPODNI	
		4	1	kryt_podpera	
		5	8	ISO 7089 - 8 - 140 HV	Ploché podložky - normální série - výrobní řada A
		6	4	ISO 4762 - M8 x 20	Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem
		7	4	ISO 4032 - M8	Šestihranné matice, styl 1 - výrobní řada A a B



DRAWN	25.5.2016	TITLE	
CHECKED			
QA			
MFG			
APPROVED			
		SIZE	A2
		DWG NO	kryt_kardanu
		SCALE	1 / 4
		REV	
KVM - BP - 162 - III.			SHEET 1 OF 1