

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Konstrukce a technologie výroby zařízení pro měření výkonových
charakteristik motocyklu**

Autor: **Adam Hamberger**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Miroslav Zetek, Ph.D**

Akademický rok 2018/19

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam HAMBERGER**

Osobní číslo: **S17N0028P**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**

Název tématu: **Konstrukce a technologie výroby zařízení pro měření výkonových charakteristik motocyklu**

Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Rozbor současného stavu
3. Konstrukční návrh, technologie výroby a praktické ověření
4. Zhodnocení dosažených výsledků
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50 - 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- **STANĚK, J.-NĚMEJC, J.** Metodika zpracování a úprava diplomových prací. Plzeň: ZČU, 2005, 58 s. ISBN 80-7043-363-9
- **STEJSKAL, M.** Zvýšení výkonových parametrů zážehového jednoválcového dvoudobého motoru. Diplomová práce. VUTBR. Brno: 2012
- **VLK, F.** Zkoušení a diagnostika motorových vozidel 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2001, 576 s. ISBN 80-238- 6573-0.
- **TRACY, M.** How to Tune and Modify Motorcycle Engine Management Systems. Wisconsin, United states: Motorbooks International, 2005, 192 s. ISBN 9780760340738
- **MERIAM, J.L. KRAIGE, L.G.** Engineering Mechanics: Dynamics, New York, United states: John Wiley & Sons Inc, 2013, ISBN 9781119044819

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Miroslav Zetek, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění
Konzultant diplomové práce: **Ing. Milan Daňa**
Regionální technologický institut

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2019**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehof, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 18. října 2018

Prohlášení o autorství

Prohlašuji, že tuto práci jsem vypracoval samostatně pod vedením Doc. Ing. Miroslava Zetka, Ph.D a s použitím zdrojů uvedených v seznamu.

V Plzni dne 15. 5. 2019

.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat závodnímu teamu F.L.B racing team za zpřístupnění dílenského vybavení pro výrobu a poskytnutí prostor včetně motocyklů pro praktické ověření.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Hamberger	Jméno Adam	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Strojírenská technologie-technologie obrábění“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Zetek, Ph.D	Jméno Miroslav	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	BAKALÁŘSKÁ	DIPLOMOVÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Konstrukce a technologie výroby zařízení pro měření výkonových charakteristik motocyklu		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEV.	2019
----------------	---------	----------------	-----	------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	60	TEXTOVÁ ČÁST	38	GRAF. ČÁST	22
---------------	----	---------------------	----	-------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato práce se zabývá řešením potřeby měřit výkonové charakteristiky motocyklu. Charakteristikami se rozumí točivý moment, výkon motoru a hnací síly. Cílem práce je vyhotovení kompletního a funkčního měřicího zařízení, které dokáže zobrazit výsledky měření přímo na PC. Jedná se tedy o dynamometr, který využívá pro brzdění motoru setrvačnick se známým momentem setrvačnosti. Data z měření jsou posílána sériovou komunikací USB rozhraním do desktopové aplikace, jejíž tvorba je taktéž součástí této práce. Hlavní výhodou je možnost přenášení, což není obvyklým atributem motocyklových dynamometrů.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Výkonové charakteristiky, dynamometr, točivý moment, výkon, motocykl, měření.</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Hamberger	Name Adam	
FIELD OF STUDY	B2301 „Department of Machining Technology“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Zetek, Ph.D	Name Miroslav	
INSTITUTION	ZČU - FST – KTO		
TYPE OF WORK	BACHELOR	DIPLOMA	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Engineering design and production technology of device for power characteristics measuring of a motorcycle		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	60	TEXT PART	38	GRAPHICAL PART	22
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This thesis deals with solving the need of measuring power characteristics of a motorcycle. These characteristics are torque, power and driving forces. The aim of this work is to create complete and functional device that can show the measurement results on a PC. It is the dynamometer that uses a flywheel with known moment of inertia in order to brake the engine. Measurement data is sent using the serial communication via USB to desktop application that is also created within this work. The main benefit of this device is the ability to be easily transported which is not a usual feature of dynamometers for motorcycles.</p>
KEY WORDS	Power characteristics, dynamometer, torque, power, motorcycle, measuring

Seznam zkratk, symbolů a jednotek

NC	Numerical Control	Číslicové řízení
CAD	Computer Aided Design	Počítačem podporované navrhování
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
F_h	Hnací síla	[N]
F_{odp}	Odporová síla	[N]
m_{red}	Redukovaná hmotnost	[kg]
I_{red}	Redukovaný moment setrvačnosti	$[kg \cdot m^2]$
i_{celk}	Celkový převodový poměr	[-]
r_{kola}	Poloměr zadního kola	[m]
M	Točivý moment	[Nm]
P	Výkon	[kW]
n	Otáčky	$[min^{-1}]$
α	Úhlové zrychlení	$[rad \cdot s^{-2}]$
ω	Úhlová rychlost	$[rad \cdot s^{-1}]$
R_L, R_P	Reakce v ložiskách L, P	[N]
F_{M6}, F_{M12}	Osové síly ve šroubech M6, M12	[N]
f	Součinitel tření	[-]
d_s	Styčný průměr	[mm]

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Rozbor současného stavu	2
2.1.	Současný stav [1], [5].....	2
2.2.	Fyzikální podstata [2], [7]	4
2.2.1.	Točivý moment vs. výkon motoru.....	6
2.3.	Princip měření výkonových charakteristik [2], [3], [5]	7
2.4.	Určení setrvačných účinků [2], [7].....	10
2.5.	Určení úhlového zrychlení [7], [10]	13
2.6.	Podnět k návrhu nového řešení.....	14
3	Konstrukční návrh, technologie výroby a praktické ověření.....	15
3.1.	Dimenzování setrvačných hmot	15
3.1.1.	Setrvačnick.....	17
3.2.	Návrh pohonu.....	18
3.2.1.	Návrh řetězového převodu [16].....	18
3.2.2.	Návrh uložení hřídelí.....	20
3.2.3.	Kontrolní výpočet ložisek.....	22
3.2.4.	Návrh horního hřídele [4].....	23
3.2.5.	Návrh startování	26
3.3.	Upevnění dynamometru	27
3.3.1.	Návrh stojanu	28
3.3.2.	Momentová reakce	29
3.3.3.	Příčná aretace	30
3.3.4.	Pevnostní kontrola upevnění	31
3.4.	Technologie výroby.....	33
3.4.1.	Výroba spodního uložení.....	33
3.4.2.	Výroba opláštění.....	36
3.4.3.	Výroba horního uložení.....	37
3.4.4.	Výroba stojanu	39
3.4.5.	Výroba startovacího mechanismu	40
3.5.	Montáž dynamometru.....	40
3.6.	Návrh snímače [6], [9].....	41
3.7.	Výroba snímače.....	42

3.8.	Aplikace A26_DynoSoft [8].....	44
3.8.1.	Nastavení v aplikaci A26_DynoSoft.....	44
3.8.2.	Měření v aplikaci A26_DynoSoft.....	45
3.8.3.	Porovnání v aplikaci A26_DynoSoft.....	49
3.9.	Praktické ověření.....	50
4	Zhodnocení dosažených výsledků.....	52
4.1.	Činnosti pro zprovoznění zařízení.....	52
4.2.	Porovnání naměřených výsledků s jiným zařízením.....	53
4.3.	Ekonomický rozbor.....	55
4.3.1.	Náklady na materiál.....	56
4.3.2.	Náklady na práci.....	56
5	Závěr.....	58

1 Úvod

Potřeba měřit výkonové charakteristiky motorů je stará jako motorismus sám, proto existuje spousta specializovaných firem, které měření nabízejí. A to ať už jako měření samotné, kdy si zákazník zaplatí pouze grafický výstup z měření v podobě závislosti točivého momentu a výkonu na otáčkách, anebo jako závěrečné zhodnocení provedené úpravy. V obou případech se ale jedná o vcelku nákladnou položku, kdy hodina jako základní tarif stojí mnohdy i více než 1000 Kč. Existuje ale řada zákazníků, resp. závodních týmů, pro které by bylo častější měření značně nevýhodné, neboť při zkoušení různých komponent jsou časy prostojů tak dlouhé, že např. pouhé vyzkoušení vlivu nastavení zapalovací soustavy by závodní tým nemusel finančně ustát. Ačkoli by se v takovém případě nabízelo investovat do koupě vlastního dynamometru, je takový postup ve většině případů nerealizovatelný, neboť vstupní náklad pro jeho pořízení se pohybuje v řádech statisíců korun.

Důvodů proč měřit výkonové charakteristiky motocyklu je více, tím hlavním je potřeba správného naladění motoru a nalezení správných komponent proto, aby bylo možno dosáhnout co nejlepšího projevu motoru. Výsledky z měření společně s informacemi o nastavení motocyklu pak podávají velmi cenné výstupy zahrnující vliv jednotlivých změn při ladění motorů na výkonové charakteristiky. Měřicí zařízení pak nalézá uplatnění všude, kde je zapotřebí dosáhnout kýženého výsledku z hlediska projevu motoru, tj. např. v oblasti vývoje závodních komponent pro motocyklové závody apod. Takovému procesu zkoušení se v praxi říká ladění na brzdě. Motorová brzda je ale nesprávné označení pro měřicí zařízení, neboť označuje prvek motoru těžkotonážních vozidel usnadňující brzdění v provozu.

Mnohdy se také namísto pojmu výkonové charakteristiky užívá pojmu otáčkové charakteristiky. Ve své podstatě se jedná o totéž, neboť nejčastěji udávaným grafickým výstupem z měření je průběh výkonu a točivého momentu v závislosti na otáčkách, proto charakteristiky otáčkové. Podrobný vztah mezi jednotlivými formami oněch charakteristik bude pro pořádek důkladně rozebrán v následujících kapitolách.

Náklady na tvorbu dynamometru jsou tvořeny z části výrobou hardwaru, který zahrnuje rám, hlavní ústrojí a snímací mechanismus. Obrovskou část ale tvoří náklady na naprogramování softwaru, resp. sofistikované aplikace, která při intuitivním ovládní dokáže podat grafický výstup výkonových charakteristik. Výroba takového zařízení jako celku tedy vyžaduje znalosti jak konstrukčního navrhování, tvorby technologických postupů, tak i znalosti z oblasti elektrotechniky i programování.

Tato práce tedy v sobě shrnuje základní definice měřených veličin, možnosti způsobu jejich zjištění, podoby dosud používaných měřících zařízení, jejich výhody a nevýhody, přičemž na základě tohoto shrnutí představí podrobný návrh revolučního zařízení, které je možné snadno přenášet a bez obtíží jej tak přepravit bez potřeby více osob nebo nákladného zařízení. Takové přenosné zařízení pak může podávat výsledky o stavu motocyklů do výkonu 11 kW (15 PS). Cílem práce je tedy vyrobit měřicí zařízení zmíněných vlastností na základě teoretických poznatků z příští kapitoly. Vyráběné zařízení pak bude využívat akcelerační zkoušky, přičemž její průběh se posílá z mikropočítače dynamometru do PC prostřednictvím USB kabelu. Zařízení je pak možné snadno zprovoznit na jakémkoli PC s operačním systémem Windows.

2 Rozbor současného stavu

2.1. Současný stav [1], [5]

V dnešní době se valná většina motocyklových dynamometrů vyskytuje ve formě válcového dynamometru (angl.: chassis dynamometer) bez mařicího členu. Mařicím členem se rozumí cíleně zabudované zařízení, které převádí energii motoru na jinou formu energie, než potenciální. Tento mařicí člen může fungovat na principu:

- Víření kapaliny lopatkovým kolem
- Výroby elektrické energie (vzniku Foucaultových vířivých proudů)
- Brzdění třecí brzdou apod.

Převod na potenciální energii funguje na principu roztáčení hmotného setrvačnicku, z něž se snímá úhlové zrychlení, jehož transformace na výkonové charakteristiky bude popsána posléze v kap. 2.2. Silový účinek u válcových dynamometrů se převádí ze zadního kola principem třecího převodu přes pneumatiku na hmotný válec, jehož pohyb se analyzuje.



Obr. 1 – Válcový dynamometr [11]

Dalším typem, který se vyskytuje převážně ve vývojových střediscích, je dynamometr motorový (angl.: engine dynamometer). Ten vyžaduje demontáž motoru a jeho upnutí na speciální konstrukci, jejíž částí je setrvačnick poháněný (nejčastěji řetězem) přímo výstupem z motoru. Tato forma může, ale nemusí disponovat mařicím členem.

Jakákoli forma nedisponující mařicím členem se v některých českých pramenech (většinou z minulého století) označuje jako setrvačnickový stav, pokud cíleně používá pro brzdění pouze setrvačnost.

Tento pojem se ale v cizojazyčné literatuře zpravidla nevyskytuje a veškerá zařízení pro měření výkonových charakteristik, ať už využívají mařící člen či nikoli, se souhrnně nazývají dynamometry (v cizojazyčných pramenech zkráceně dyno).



Obr. 2 – Motorový dynamometr [12]

Výše popsané druhy dynamometrů jsou dynamického typu, tzn., že zjišťují točivý moment prostřednictvím zrychlení setrvačnicku v průběhu jeho roztáčení na základě platnosti druhého Newtonova zákona pro rotaci:

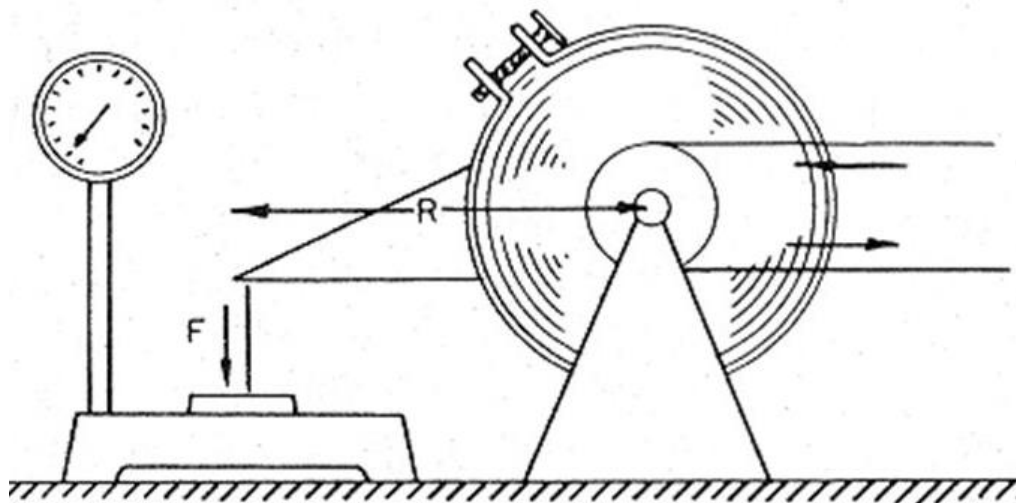
$$M = I \cdot \alpha \quad (1)$$

kde:

- M - točivý moment roztáčejí setrvačnick [Nm]
- I - moment setrvačnosti setrvačnicku [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]
- α - úhlové zrychlení setrvačnicku [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$]

V případě, že má dynamometr mařící člen, se k uvedenému momentu přičítá moment, který je členem vyvíjen. Druhým typem jsou takzvané statické dynamometry, ty neuvžívají úhlového zrychlení, ale měří točivý moment přímo. Nejjednodušší formou je takzvaná Pronyho brzda, jejíž princip je znázorněn na obr. 3. Utažením šroubu na objímce se vytvoří tření, které udrží motor ve stálých otáčkách, ve kterých se posléze odečte hodnota na číselníku. Takovýmto způsobem se měřil točivý moment v dobách, kdy nebyly dostupné snímače úhlového zrychlení. Své uplatnění nalézá i dnes, avšak v mnohem sofistikovanější podobě využívající systém chlazení, přesné tenzometry a systém elektronického řízení.

Výhodu oproti brzdám dynamickým má, pokud je zapotřebí udržet motor ve stálých otáčkách, nebo např. zjistit chování na pól plynu apod.



Obr. 3 – Pronyho brzda [13]

Ačkoli existuje více konkrétních řešení toho, jak měřitelně mařit výkon motoru, tak tato kapitola stručně popsala základní typy motocyklových dynamometrů. K tomu, aby bylo možné zmíněné druhy blíže popsat, porovnat a na základě toho představit nové řešení, je zapotřebí vysvětlit základní vztahy zjišťovaných veličin a bližší princip toho, jak měření přesně funguje. Doposud byla sice nastíněna základní myšlenka toho, jak je možné charakteristiky měřit, ale k dosažení relevantních výsledků je zapotřebí vysvětlit a zohlednit spoustu detailů, k čemuž slouží následující kapitoly.

2.2. Fyzikální podstata [2], [7]

Ještě dříve, než bude vhodné zmínit souvislosti o výkonu a točivém momentu, je třeba charakterizovat, co popisuje samotnou dynamiku motocyklu ještě blíže. A tím je zrychlení, které je pro daný čas vyjádřitelné rovnicí:

$$a(t) = \frac{F_h(v) - F_{odp}(v)}{m_{red}} \quad (2)$$

kde:

- t - čas [s]
- F_h - hnací síla [N]
- F_{odp} - odporová síla [N]
- m_{red} - redukovaná hmotnost [kg]

Výraz redukovaná hmotnost je jedním z hlavních pojmů metody redukce, což je nástroj, kterým se vypočítávají setrvačné odpory mechanismů. Stručně řečeno, tato hmotnost v sobě zahrnuje i setrvačný vliv rotujících součástí. Pro představu, redukovaná hmotnost šedesátikilogramového mopedu je cca 68 kg při vyřazeném rychlostním stupni.

Dalším členem v rovnici zrychlení je odporová síla, ta je popsateľná rovnicí ve tvaru:

$$F_{odp}(v) = c_2 \cdot v^2 + c_1 \cdot v + (c_{val} + \sin(\varphi)) \cdot m \cdot g \quad (3)$$

kde:

v	-	rychlost [m/s]
c_1, c_2, c_{val}	-	konstanty odporu
φ	-	úhel stoupání vozovky [rad]
m	-	celková hmotnost [kg]
g	-	tíhové zrychlení [m/s^2]

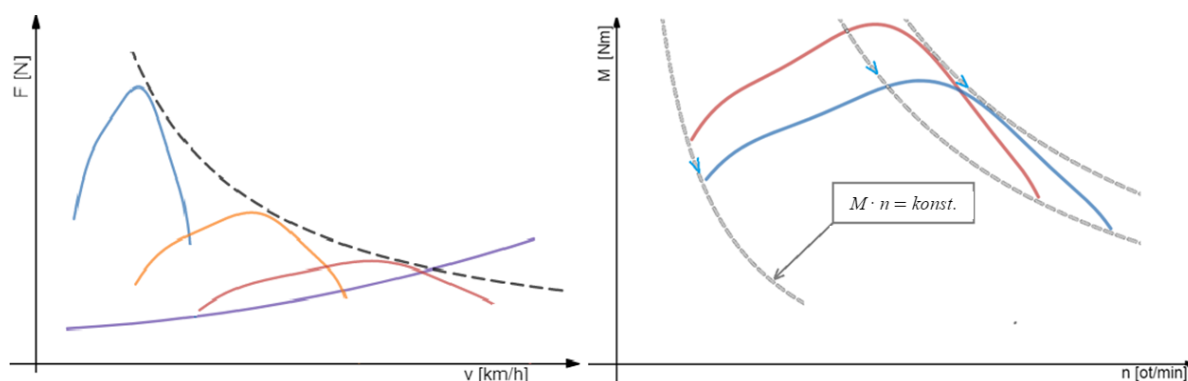
Značná většina odborné literatury neuvažuje lineární člen, což je velká chyba, neboť byl experimentálně potvrzen průběh, který není bez tohoto členu dostatečně přesně aproximovatelný. Doposud vysvětlené členy z rovnice 2 nejsou ovlivnitelné motorem. To, co ale motorem ovlivnitelné je, je hnací síla F_h popsaná rovnicí:

$$F_h(v) = \frac{M(n) \cdot i_{celk}}{r_{kola}} \quad (4)$$

kde:

M	-	točivý moment klikové hřídele [Nm]
n	-	otáčky klikové hřídele [ot/min]
i_{celk}	-	celkový převodový poměr motocyklu [-]
r_{kola}	-	poloměr hnaného (zadního) kola [m]

Hnací silou se rozumí síla na běhounu pneumatiky, respektive tečná (třecí) mezi běhounem a vozovkou. Diagram hnacích sil se skládá z k spojitých křivek, kde k je počet rychlostních stupňů. Pro dosažení největšího zrychlení je okamžik přeřazení nejvhodnější situovat do průsečíku křivek po sobě jdoucích rychlostních stupňů. Tento fakt vyvrací mýty o optimálním okamžiku přeřazení, který si mnozí spojují pouze s určitými otáčkami motoru. Protože diagram hnacích sil nejlépe charakterizuje celkové zrychlení v celém pásmu provozní rychlosti, zohledňuje převodové stupně a ve spojení s odporovou funkcí udává i maximální rychlost včetně optimálních okamžiků přeřazení z hlediska největšího zrychlení, je vhodné jej považovat za nejlepší způsob pro porovnání výkonových charakteristik.



Obr. 4 - Diagram hnacích sil (vlevo) a diagram s momentovými křivkami (vpravo)

2.2.1. Točivý moment vs. výkon motoru

Vzhledem k tomu, že pro sestavení diagramu hnacích sil je zapotřebí zjišťovat převodové poměry všech rychlostních stupňů, je zvykem za klasický výstup výkonových charakteristik považovat diagram momentu a výkonu v závislosti na otáčkách. Jak je patrné z porovnání grafů na obr. 4, křivka momentu s křivkou hnací síly má stejný průběh, to znamená, že to, co přesně popisuje chování v rozsahu otáček, je diagram momentu, nikoli výkonu. Tudiž veškeré řidičem pociťované prudké zátahy v pásmu otáček se projeví jako náhlý nárůst na momentové křivce. I přesto bývá diagram momentu mnohdy přehlížen a větší zájem pak neprávem budí křivka výkonu, kdy výkon P , jakožto skalární veličina, je popsán rovnicí:

$$P = M \cdot \omega = F_h \cdot v \quad (5)$$

kde:

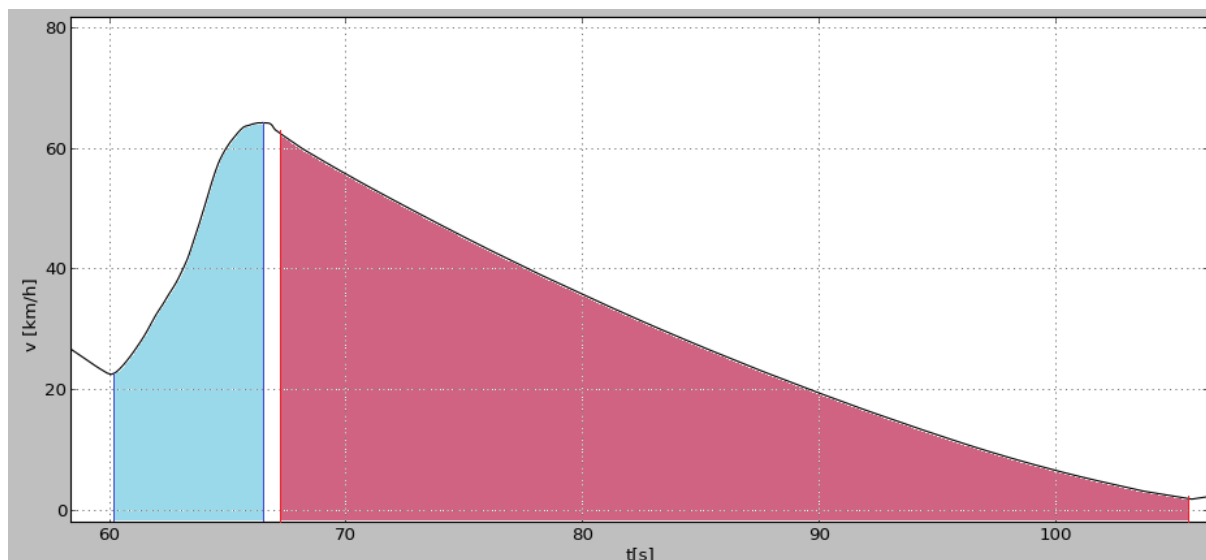
- P - výkon motoru [W]
- M - točivý moment motoru (na klikové hřídeli) [Nm]
- ω - úhlová rychlost klikové hřídele [rad/s]
- F_h - hnací síla [N]
- v - rychlost motocyklu [m/s]

Modelový příklad nedostatečnosti momentové křivky je na pravé části Obr. 4. Se kterou momentovou křivkou je možné dosáhnout lepších výsledků? Ačkoli by se mohlo zdát, že červená křivka udělí vozidlu vyšší zrychlení, není to pravdou. Tento fakt potvrzují šedě zbarvené rovnoosé hyperboly, po kterých se křivky deformují. Svým způsobem modrá křivka vznikla z červené po deformaci ve směru modrých šipek stejně tak, jako se deformovaly křivky hnacích sil na jednotlivé převodové stupně. Tudiž podle rovnice 4 zvýšením celkového převodového poměru dojde rovněž ke zpětné deformaci a hnací síly červené a modré varianty by splynuly. To je způsobené zachováním výkonu, který je na každém místě jedné hyperboly stejný. Zlepšením je tedy myšlen posun vždy normálově přes hyperboly ve směru od počátku.

Ačkoli by se mohlo zdát, že křivka výkonu bude lepším aspektem pro porovnání, není to pravdou, protože její průběh není grafickou interpretací chování motoru. Takže porovnání momentů je třeba provádět vždy v součinu s otáčkami, resp. s úhlovou rychlostí ω , anebo převést na diagram hnacích sil. Součin momentu s úhlovou rychlostí, viz. rce 5, je ale označován jako výkon P . Toto vysvětlení potvrzuje, že na navýšení hnací síly při konstantní rychlosti má vliv pouze výkon, jenž se dá libovolně převodovat. K závěru ohledně těchto dvou veličin je nutné shrnout, že pokud jsou k dispozici pouze maximální hodnoty, je možné říct, že v určitém pásmu otáček bude stran dosažitelnosti vyšší hnací síly vždy vhodnější motor s vyšším výkonem, nikoli momentem. Dalším často řešeným tématem v oblasti měření výkonu bývá, zda-li je hodnota výkonu měřena takzvaně „na kole“ anebo „na motoru“. Způsob zjištění těchto hodnot a úvod do problematiky měření je uveden v kapitole 2.3.

2.3. Princip měření výkonových charakteristik [2], [3], [5]

Stejně tak, jako se dělí dynamometry na statické a dynamické, se rozlišují i principy měření, které se jimi uskutečňují. Na statických dynamometrech se výkon motoru převádí většinou do výkonu tepelného, přičemž moment, kterým se motor brzdí v konstantních otáčkách, se měří. K tomu se používá nejčastěji tenzometrů nebo měření výchylky pružného elementu, např. zkroucení torzní tyče apod. V provozním rozsahu otáček motoru se vybere několik hodnot, ve kterých se brzdícím účinkem retardéru tato hodnota udrží. Dle rovnice 5 se pro každý tento bod jednoduše vypočte výkon a sestrojí se graf. Tímto způsobem se dala realizovat měření i v minulosti bez jakékoli elektroniky. Moderní statické dynamometry nepotřebují ve zmiňovaných bodech zastavit, protože sofistikovaný systém řízení umožňuje tuto množinu vybírat v průběhu roztáčení z minimálních do maximálních otáček, nebo naopak v průběhu přibrzdění z otáček maximálních. Takto lze provádět i dlouhodobé zkoušky, simulace provozního zatížení zahrnující např. měření vývoje teploty a dalších průvodních jevů.



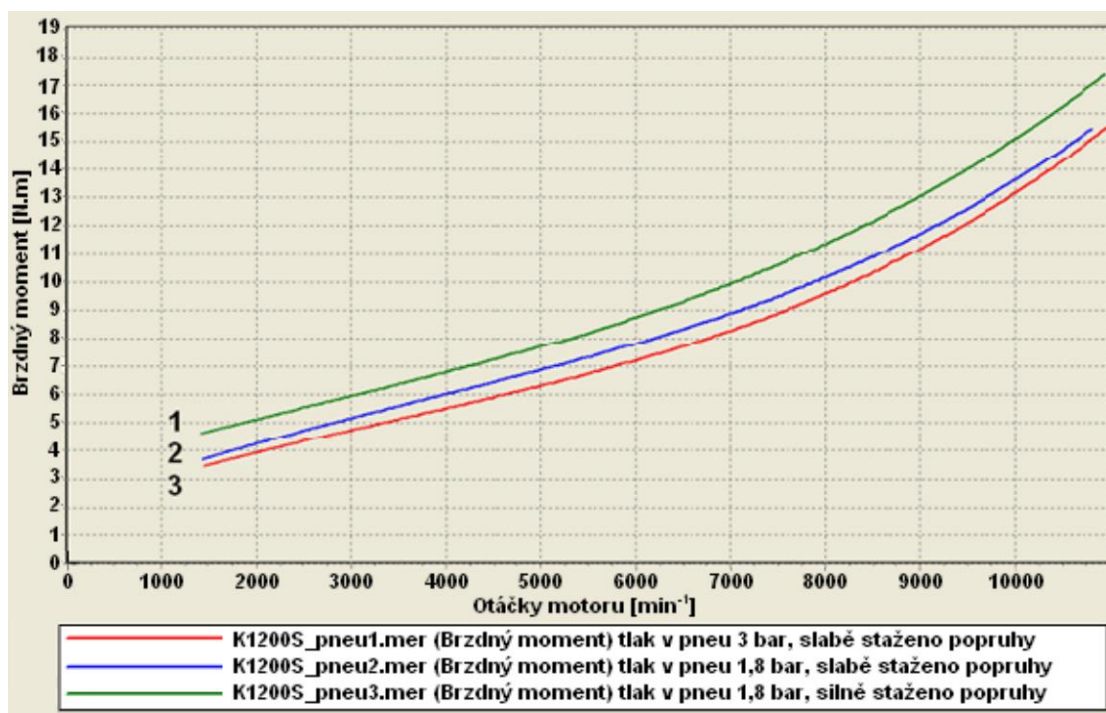
Obr. 5 - Průběh rychlosti při dynamickém měření

Naproti tomu dynamické měření může trvat pouze omezenou dobu, kdy se moment vypočítává z úhlového zrychlení dle rce 1. Výpočet výkonu pak probíhá stejně jako při měření statickém dle rce 5.

Zatím ovšem nebylo zmíněno to, jak se určuje zastoupení ztrát, které má na výsledky obou typů měření velký vliv. Proto se dynamické měření rozděluje na tzv. rozběhovou a doběhovou zkoušku, kdy rozběhová určí moment potřebný pro urychlování všech rotujících hmot, zatímco doběhová zjistí, jakým momentem působí dohromady pasivní odpory. Výsledný moment je pak součtem obou těchto momentů.

Rozběhová zkouška (akcelerační) se zaznamenává od nejnižších otáček po přidání plynu až do maxima při zařazeném rychlostním stupni (nejčastěji nejvyšším). Proto je zapotřebí úhlové zrychlení vynásobit redukovaným momentem setrvačnosti, který zahrnuje setrvačný účinek všech roztáčených součástí. Doběhová zkouška zaznamenává průběh dotáčení rotačních hmot oddělených od motoru vyřazeným rychlostním stupněm nebo vypnutou spojkou. Obě části jsou vyznačeny na obr. 5 modrou a červenou barvou, přičemž bílá oblast mezi nimi přísluší okamžiku, kdy obsluha provádějící měření ubírá plyn a vyřazuje rychlostní stupeň, tudíž se nikam nezapočítává.

Moment setrvačnosti pro doběhovou zkoušku, je tedy menší než pro rozběhovou, neboť se při ní pohybuje méně součástí. V některých případech obsluha doběhovou zkoušku (decelerační) neprovádí a naměřené výsledky publikuje jakožto hodnoty tzv. „na kole“. Důvodem toho, proč se doběhová zkouška mnohdy neprovádí, je to, že u valné většiny motocyklů nelze z nejvyššího rychlostního stupně vyřadit na neutrální, přičemž oddělení od motoru je nutné provádět vymáčknutím spojky, která se musí držet až do doby, kdy rychlost poklesne pod minimální hodnotu, kdy začala zkouška rozběhová (cca do devadesáté sekundy v grafu na obr. 5). Takto dlouhá doba příliš nesvědčí vypínacímu mechanismu spojky, proto v rámci této práce bude realizováno a vysvětleno řešení toho, jak vyčíslit hodnoty pasivních odporů v potřebném rozsahu otáček bez toho, aby se musel zatěžovat vypínací mechanismus spojky tak dlouho.

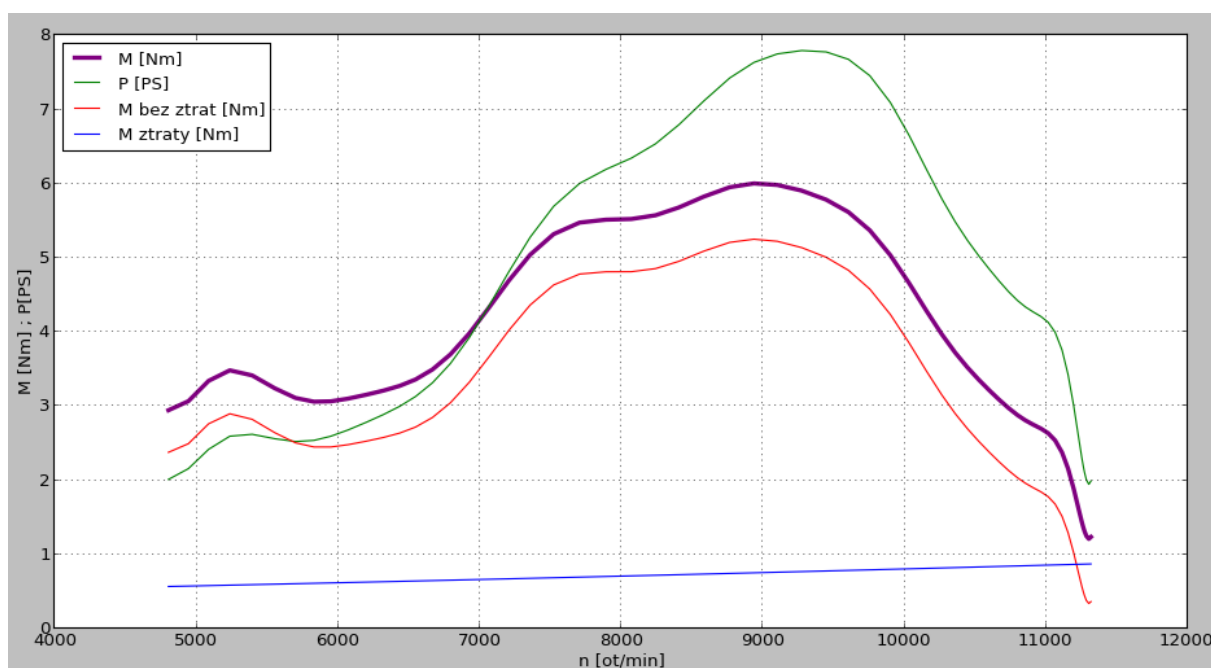


Obr. 6 - Rozdílné brzdné momenty na válcovém dynamometru [14]

Publikování výsledků s přívlastkem „na kole“ je také značně nekorektní, neboť zejména u válcových dynamometrů se ztráty rasantně liší v závislosti na normálové síle mezi válcem a pneumatikou, na teplotě součástí, resp. maziva v nich, které se vzrůstající teplotou zmenšuje svou viskozitu, dále pak na napnutí řetězu atd., přičemž žádný z těchto činitelů nelze opakovatelně udržet na konstantní úrovni, z čehož pak vyplývá nízká reprodukovatelnost měření.

Značnou výhodou z tohoto hlediska pak mají dynamometry motorové, zejména pak, převádějí-li točivý moment rovnou z klikové hřídele, neboť stálá konstrukce převodů uvnitř měřícího mechanismu umístěná většinou ve stálých laboratorních podmínkách vykazuje neměnné odpory, které jsou pro dané zařízení konstantní po velmi dlouhou dobu, na rozdíl od sekundárního řetězu, ložisek kol, pneumatiky atd.

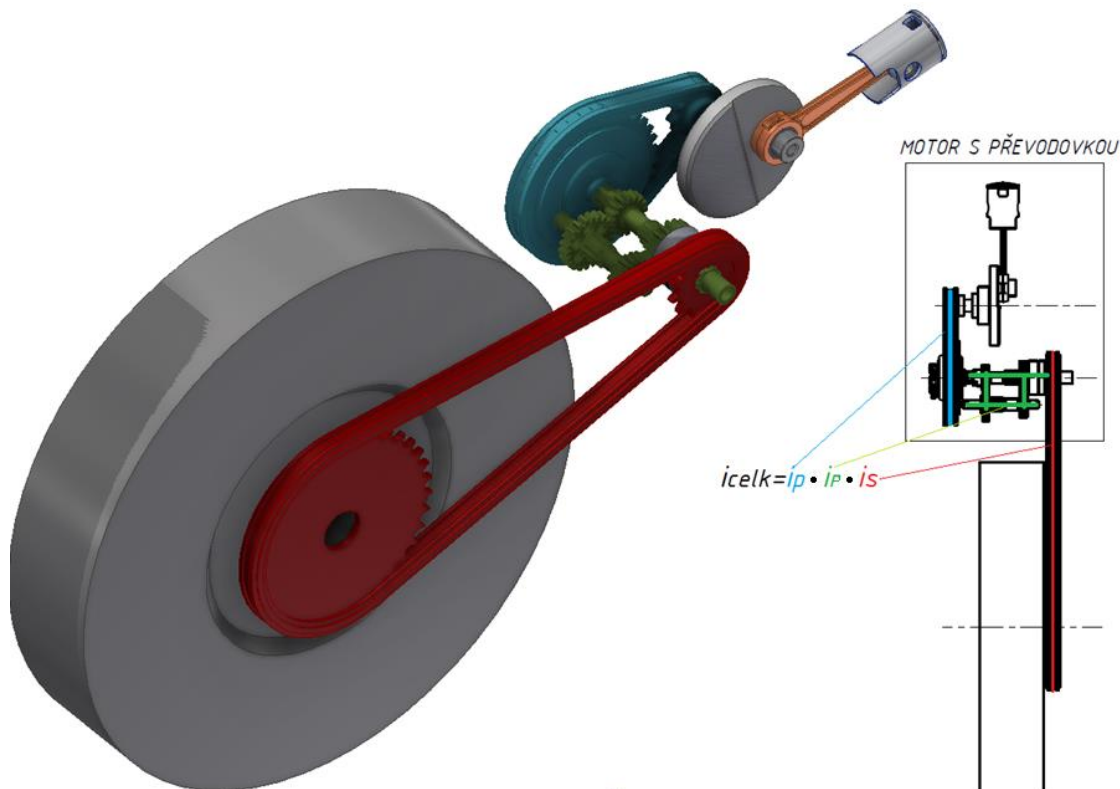
Z výše uvedených faktů vyplývá, že pro dynamická měření je zapotřebí určit nejen moment setrvačnosti součástí měřícího zařízení, ale také i komponent, jež jsou součástí motoru. V praxi se ale zpravidla každá tato součást nedemontuje, aby bylo možné ji změřit a namodelovat v CAD, tzn. provést reverse engineering, a následně sečíst všechny momenty setrvačnosti, které vypočítává většina CAD systémů. Je zvykem do výpočtu udávat přibližnou hodnotu, která se dá určit na základě zdvihového objemu motocyklu, neboť podíl setrvačného účinku částí motorů vůči setrvačnicku měřícího zařízení je velmi malý. Co ale přesně moment setrvačnosti je, a jak se určuje pro rozběhovou a doběhovou zkoušku, popisuje kapitola 2.4.



Obr. 7 – Točivý moment pro akceleraci, ztrátový moment a celkový moment s výkonem

Obr. 7 znázorňuje zvlášť křivky momentu pro překonání ztrát, pro překonání setrvačného odporu a křivku celkového momentu, jež je součtem zmíněných dvou. Zelená křivka pak reprezentuje výkon motoru. Ačkoli se uvádí tyto hodnoty vztahované k motoru, nejsou to hodnoty, které by měl klikový hřídel sám o sobě.

Z logiky věci se vždy jedná o hodnoty příslušící té součásti, která odděluje motor od měřícího zařízení, což je ve většině případů spojka, která je většinou za primárním převodem (modrá na obr. 8). Doběhová zkouška pak zjistí ztráty sekundárního převodu (červená), převodovky (zelená), ale převodu primárního už ne, proto se jedná spíše o hodnoty na spojce, neboť hodnoty příslušící přímo klikové hřídeli, by byly o ztráty primárního převodu větší.



Obr. 8 - Zjednodušené schéma pohyblivých součástí včetně celkového přev. poměru i_{celk}

2.4. Určení setrvačných účinků [2], [7]

Vzhledem k tomu, že valná většina hmot v analyzované soustavě dynamometr-motocykl je čistě rotačních, mnohdy spojených řetězem, bude rovněž zjištění momentu setrvačnosti vysvětleno na zjednodušeném modelu prezentovaném na obr. 9. V případě, že by se jednalo o čelní ozubení namísto řetězu, vynechala by se ve výpočtu hmotnost řetězu (popř. řemenu) m_{ret} . Pro tento model pak platí následující pravidla popsaná rovnicemi:

$$i = \frac{s_2}{s_1} = \frac{M_2}{M_1} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (6)$$

$$v_{ret} = \omega_1 \cdot s_1 = \omega_2 \cdot s_2 \quad (7)$$

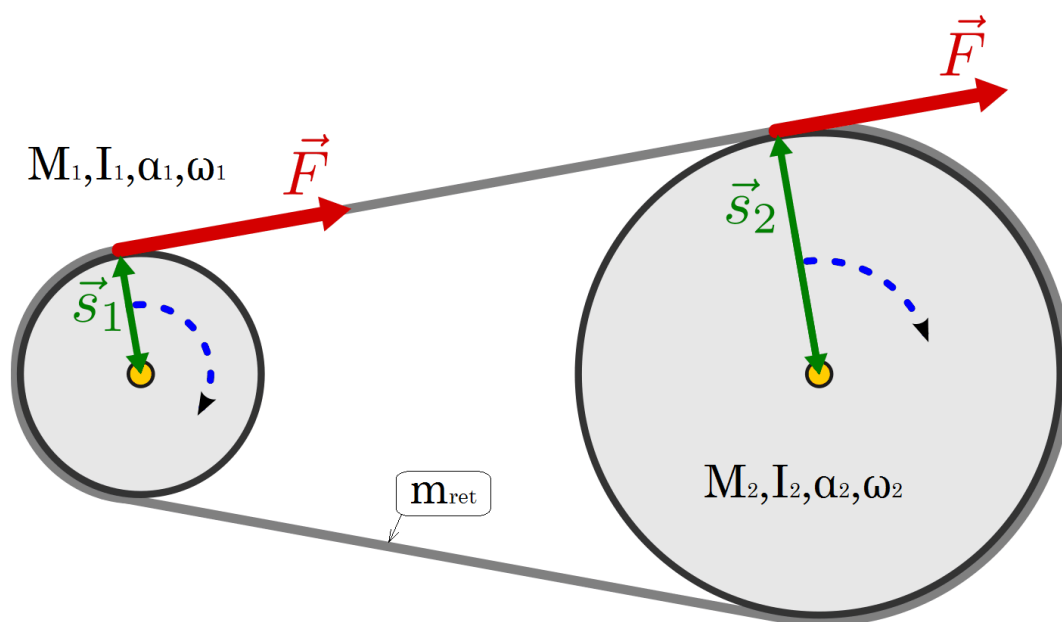
kde:

$\omega_{1,2}$ - úhlové rychlosti kol 1 a 2 [rad/s]

$\alpha_{1,2}$ - úhlové zrychlení kol 1 a 2 [rad/s²]

$M_{1,2}$ - točivé momenty kol 1 a 2 [Nm]

v_{ret} - rychlost řetězu [m/s]



Obr. 9 – Schéma pro určení setrvačného účinku řetězového převodu [15]

Moment setrvačnosti je veličina charakterizující setrvačný odpor tělesa. Tato hodnota se vždy váže k určitému tělesu a k určité ose otáčení. Definice této veličiny je pro homogenní tělesa pak realizována rovnicí:

$$I = \int_m r^2 dm \quad (8)$$

kde:

dm - element hmotnosti [kg]

r - vzdálenost elementu hmotnosti od osy rotace [m]

Pro snazší pochopení je možné vyjádřit moment setrvačnosti pro rotační těleso pomocí řady sčítanců, kdy každý z nich vyjadřuje moment setrvačnosti nekonečně slabé obruče, vzdálená od osy rotace o určitou vzdálenost r .

$$I = m_1 \cdot r_1^2 + m_2 \cdot r_2^2 + m_3 \cdot r_3^2 + \dots \quad (9)$$

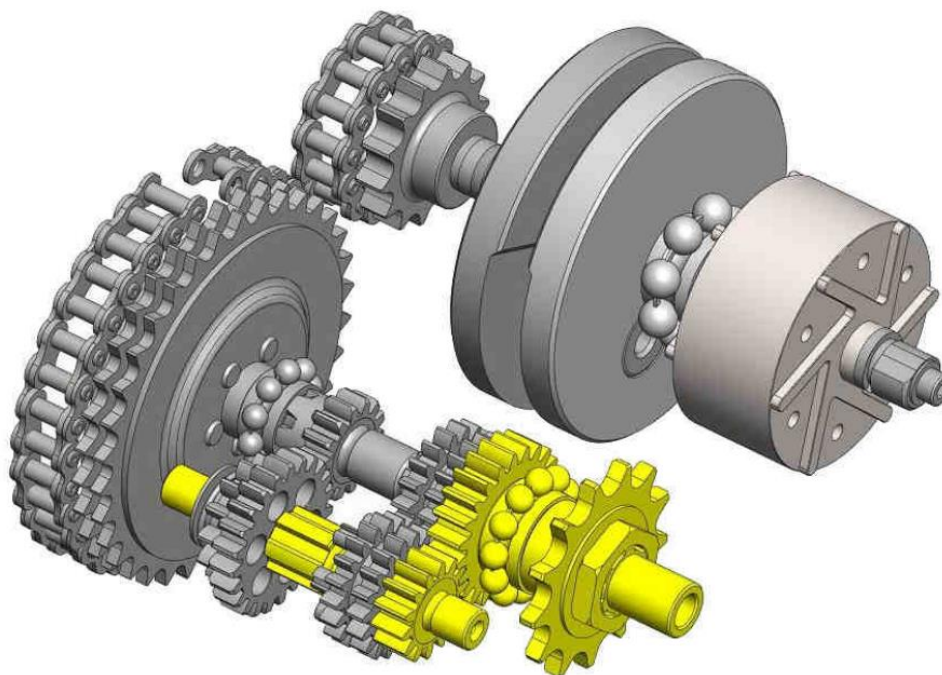
Požadavkem pro zjištění točivého momentu na jedné rotující součásti, jež pohání další součásti soustavou převodů, je určení redukovaného momentu setrvačnosti I_{red} . Tato redukce se provádí vždy na vybraný redukční člen, kterým je pro nás právě ta rotující součást, jejíž točivý moment je třeba získat. Pro náš zjednodušený model na obr. 9. předpokládáme, že známe úhlové zrychlení i rychlost kola č. 1, neboť jest osazen snímači. Toto kolo je tedy redukčním členem a zredukuje si na něj setrvačné účinky řetězu a kola č.2, přičemž se vyjde ze zákona zachování energie:

$$\frac{I_{red} \cdot \omega_1^2}{2} = \frac{I_1 \cdot \omega_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \omega_2^2}{2} + \frac{m_{ret} \cdot v_{ret}^2}{2} \quad (10)$$

Jelikož v rovnicích 6 a 7 jsou popsány vztahy mezi jednotlivými členy rovnice 10, je možné vyčíslit hodnotu I_{red} při redukcí na kolo č.1 z modelu řetězového převodu na obr. 9.:

$$I_{red} = I_1 + \frac{I_2}{i_2^2} + m_{ret} \cdot s_1^2 \quad (11)$$

Na základě výše zmíněného principu je tedy možné zjistit hodnotu I_{red} pro všechny členy v soustavě dynamometr-motocykl. Při stanovení I_{red} pro rozběhovou zkoušku dochází k započítání všech rotujících částí. U zkoušky doběhové se započítají pouze ty, které jsou od motoru odděleny, a to buď spojkou nebo vyřazeným rychlostním stupněm. Pro lepší představu jsou zde na obr. 10 žlutě vyznačené komponenty motoru Jawa 50 oddělené vyřazením rychlostního stupně.



Obr. 10 - Kompletní sestava rotačních částí motoru Jawa 50 (žlutě je zvýrazněná část zahrnutá v modelu doběhové zkoušky) [2]

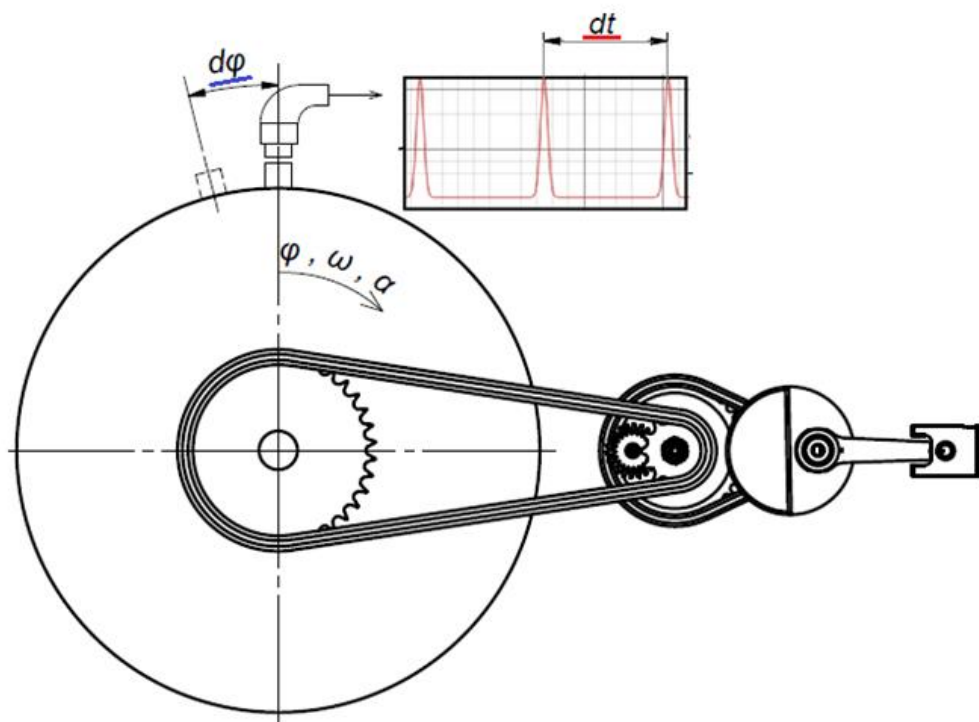
2.5. Určení úhlového zrychlení [7], [10]

Úhlová rychlost ω a úhlové zrychlení α jsou definovány následujícími diferenciálními rovnicemi:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (12)$$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (13)$$

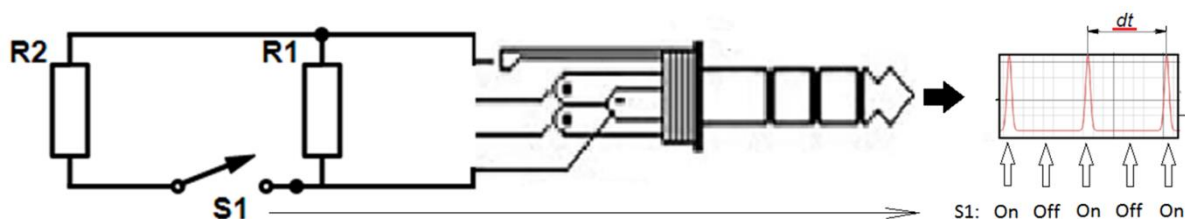
kde $d\varphi$ je diferenciál natočení v radiánech. Vzhledem k tomu, že v reálném světě není nic nekonečně malé, je možné jednotlivé diferenciály nahradit měřitelnými úseky. Tímto úsekem může být pro element úhlu např. rozestup mezi snímanými body nebo celá otočka, tj. 2π rad. Měřeným úsekem času je pak časový rozestup mezi zaznamenanými průchody snímaného bodu na setrvačnicku.



Obr. 11 – Snímání časových rozestupů

Jelikož $d\varphi$ (resp. $\Delta\varphi$) je konstantní, tak jedinou proměnou, která do výpočtu vstupuje, je časový rozestup dt (resp. Δt). Jednoduchý a hlavně levný způsob toho, jak tento rozestup měřit, je zaznamenávání analogového signálu vstupující do PC portem pro mikrofon. Existují totiž softwary na zpracování zvuku, jako je např. Audacity, které zaznamenávají na časovou osu úroveň signálu vstupující do zvukové karty. Na tomto principu fungují snímací systémy některých dynamometrů s rozdílem, že zpracovávají signál přímo a nepotřebují jiné aplikace na zpracování zvuku.

Zařízení, které se připojí namísto mikrofonu, vypadá následovně.



Obr. 12 – Elektrické schéma nejjednoduššího zařízení pro měření časových rozestupů

Spínač S1 může být např. jazýčkový spínač, jenž reaguje na přítomnost magnetu svým sepnutím. Takto fungují například cyklocomputery, jenž snímají průchody magnetu připevněného do výpletu kola. Rezistor R1 zde slouží proto, aby počítač rozeznal připojené zařízení jako klasický mikrofon, který má odpor přibližně $1,5\text{ k}\Omega$. Rezistor R2 pak už jen pouze omezuje proud procházející skrz jazýčkový spínač. Součástky pro výrobu tohoto zařízení je možno pořídit za cenu v řádu desítek korun.

2.6. Podnět k návrhu nového řešení

Hlavním podnětem k návrhu nového řešení je vysoká cena komerčně vyráběných dynamometrů. V kapitole 2.1 byly zmíněny základní druhy dynamometrů, každý z nich má ale určité množství nevýhod, které by mělo být potlačeno návrhem nového řešení. Pro všechny konvenční dynamometry je společné to, že je vcelku obtížné je transportovat. U válcových dynamometrů je hlavní nevýhoda třecí převod z pneumatiky na válec, který je spojen s určitým prokluzem a nestálostí převodového poměru, přičemž moment setrvačnosti zadního kola se velice těžko zjišťuje.

Pro dynamometry motorové je hlavní nevýhodou nutnost demontovat motor z rámu motocyklu a jeho připojení včetně ovládacích prvků na speciální konstrukci. Dynamometry statické zase vyžadují náročný řídicí systém a přesné tenzometry, což konstrukci rasantně prodražuje. U dynamických je zapotřebí zmínit, že měření může trvat pouze omezenou dobu za neustále zvyšujících se otáček.

Nabízí se tedy navrhnout zařízení potlačující výše uvedené nevýhody. To jest zařízení, u něž nedochází k převodu síly přes pneumatiku, ale zároveň není potřeba demontovat motor, přičemž celé zařízení bude snadno přenosné a zároveň levné. Návrh a výroba takového zařízení je popsána v následující části této práce.

3 Konstrukční návrh, technologie výroby a praktické ověření

Ačkoli by se mohlo jevit výhodnější navrhnout statický dynamometr, je třeba si uvědomit, že většina dynamometrů pro motocykly je dynamického typu. Důvodem je to, že člen (tenzometr), jenž měří statický moment, je vcelku náchylná součást. Ne jen, že výsledky může ovlivňovat jeho teplota a stáří, ale je velice těžké dokázat, že točivý moment, který je naměřen, je momentem skutečným. To souvisí se složitou kalibrací tenzometrického členu, což přináší další problémy.

Tento problém se nevyskytuje u měření dynamického, neboť výsledky závisí pouze na dvou vstupech, kterými jsou redukovaný moment setrvačnosti a úhlové zrychlení. Momenty setrvačností jednotlivých částí se podobně jako jejich hmotnost s časem nemění. Úhlové zrychlení závisí při jeho měření pouze na elementu času dt (resp. Δt) viz. kap. 2.5. V případě, že by docházelo k chybám u měření tohoto časového rozestupu, projevilo by se to na první pohled na momentové křivce, která by byla zaznamenána, neboť by jevila značné známky rozkmitání.

Jako příklad je možné uvést situaci, kdy se setrvačnick otáčí konstantní rychlostí. V okamžiku, kdy by hodnoty elementu času kolísaly, projevilo by se to rozkmitáním křivky rychlosti, resp. křivky zrychlení, na které se to vzhledem k její druhé časové derivaci více projeví, viz. rovnice 12 a 13. Tento jev se pak dá podchytit ještě dříve, než by došlo k publikaci chybného výsledku.

3.1. Dimenzování setrvačných hmot

Protože valná většina motocyklů má sekundární převod řetězem, nabízí se této skutečnosti využít a napojit tak na něj měřící zařízení. Tím by se vyřadil vliv třetího převodu přes pneumatiku. Další věc, jež při zjišťování setrvačných hmot činí problémy, je zadní kolo, jehož modelování do CAD programu je náročné, a zároveň jeho hmota není zanedbatelná k tomu, aby se jeho setrvačný účinek nezapočítal do výsledku. Nabízí se tedy zadní kolo demontovat, což je elementární servisní úkon, a na jeho místo připevnit setrvačnick o známém momentu setrvačnosti, jehož pohyb se bude monitorovat.

Otázkou ale je, jak velký moment setrvačnosti má setrvačnick mít proto, aby doba rozběhové zkoušky nebyla kratší než 4 sekundy, jestliže maximálním měřitelným výkonem je 11 kW. Nejen, že by se za kratší dobu naměřilo méně dat, ale zároveň by mohla relativně velkou část rozběhu zabrat oblast, kdy není směs po rychlém přidání plynu dostatečně stabilizována. Klíčem k výsledku je řešení diferenciální rovnice:

$$M(\omega) = \frac{d\omega}{dt} \cdot I_{red} \quad (14)$$

Z níž vychází integrál:

$$\int_0^T dt = \int_{\omega_0}^{\omega_1} \frac{I_{red}}{M(\omega)} d\omega \quad (15)$$

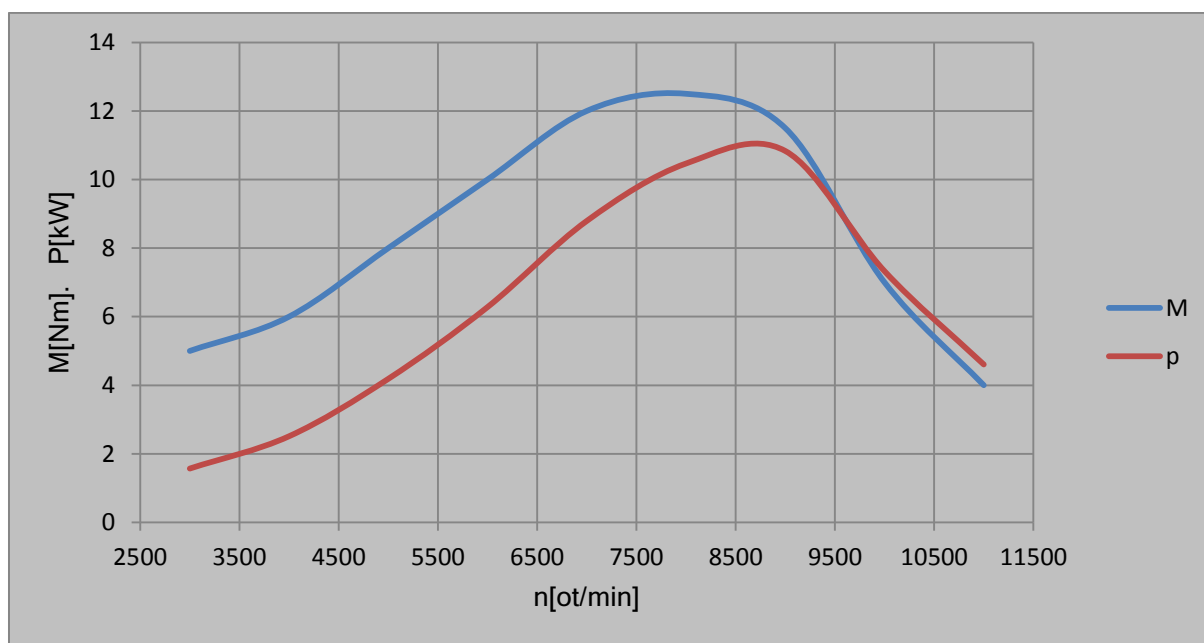
kde:

$\omega_{0,1}$ - úhlové rychlosti klikové hřídele na začátku a na konci rozb. zkoušky [rad/s]

I_{red} - redukovaný moment setrvačnosti na klikovou hřídel [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

T - doba trvání rozběhové zkoušky [s]

Pro dosažení hodnot a vyřešení integrálu v rovnici 15 je zapotřebí stanovit modelový příklad charakterizující motocykl, jehož charakteristiky dynamometr ještě musí zvládnout změřit. Průběh momentu a výkonu (maximum je 11 kW) je na obr.13. Poměr primárního převodu je volen 3, počet zubů hnacího kola sekundárního převodu je volen 14 při přímém záběru v převodovce, tj. poměr roven 1 a počet zubů kola roztáčejícího setrvačnick je volen 35, neboť menší kolo by nemuselo vést řetěz tak, aby se netřel o žádnou část motocyklu. Hodnoty byly voleny tak, aby se blížily hodnotám obvyklým pro běžné motocykly.



Obr 13 – Výkonová charakteristika motocyklu pro modelový příklad

Po numerické integraci rovnice 15 a dosazení výše uvedených hodnot bylo vypočteno, že minimální moment setrvačnosti roztáčeného setrvačnicku musí být větší než $2,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$. Ztráty a ostatní hmoty, jež nebyly do výpočtu zahrnuty, slouží jako rezerva, aby dobohová zkouška trvala vždy déle než 4 sekundy.

Vypočtené minimální hodnotě $2,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ odpovídá např. kotouč o průměru 300 mm a hmotnosti 196 kg. Vyrábět takový setrvačnick by ale bylo příliš drahé, přičemž transport a manipulace s takovým setrvačnickem včetně rámu a bezpečnostních krytů by byly značně obtížné i pro větší množství osob, což by nespĺňovalo předem stanovené požadavky. Pohánět tedy setrvačnick rovnou sekundárním řetězem není vyhovující. Z metody redukce, jejíž základ byl vysvětlen v kap. 2.4, plyne, že redukovaný moment setrvačnosti roste s druhou mocninou převodu. Jinými slovy, pokud bude setrvačnick umístěn na hřídeli, jež se bude otáčet čtyřikrát rychleji, je možné výše zmíněný těžký setrvačnick nahradit jiným, 16x lehčím.

3.1.1. Setrvačnick

Naproti tomu, jak s druhou mocninou otáček klesá potřebný moment setrvačnosti, rostou ale s druhou mocninou otáček také i odstředivé síly a tím pádem i nároky na vyvážení. Soustružit setrvačnick z plného materiálu a následně jej vyvažovat by bylo velmi nákladné. Je tedy třeba nalézt řešení, které bude nejméně pracné a zároveň nejméně nákladné. Řešením, jež obojí splňuje, je jednohmotový setrvačnick z osobního automobilu. Tyto setrvačnick se často vyhazují a je možno je tak nakoupit za cenu železného šrotu. Důvodem výměny setrvačnicku bývá to, že se obvykle mění jako celek spojkové sady, nebo že má opotřebenou třecí plochu pro spojkovou lamelu apod.

Při výběru setrvačnicku je třeba dbát toho, aby při použití v dynamometru nebyly překročeny jeho provozní otáčky zjistitelné z maximálních otáček motoru, z něhož byl vyjmut. Zde je použito setrvačnicku z automobilu Nissan 200SX, jehož maximální provozní otáčky jsou 7000 ot/min. Zároveň je třeba dbát na to, aby věnec neměl vylámané ozubení, neboť chybějící zub působí jako nevývaha.



Obr 14 - Setrvačnick s ozubeným věncem

Po reverse engineeringu součásti byla ověřena hmotnost modelu z CAD s hmotností skutečnou (12,3 kg) a zjištěna hodnota momentu setrvačnosti pro potřeby dalších výpočtů. Na střed setrvačnicku je továrně nalisován ozubený věnec, o který při spouštění motoru zabírá startér. Na obr. 14 jsou patrné z čela vrtané vyvažovací otvory. V motoru je součást připevněna na přírubu klikového hřídele osmi šrouby M10 a vystředěná průměrem 43. Upevnění v dynamometru je tedy vhodné udělat stejným způsobem, aby házivost setrvačnicku byla co nejmenší.

3.2. Návrh pohonu

Hlavním ústrojím pohonu je zde převod do rychla, jenž spojuje setrvačnick s hřídelí poháněnou sekundárním převodem v poměru 1:4. Tento převodový poměr dostatečně navyšuje moment setrvačnosti, a zároveň umožňuje provozovat setrvačnick v povolených mezích otáček. Existuje ale více možností, jak jej realizovat.

První variantou je převod koly s čelním ozubením. Výroba těchto kol se však pohybuje v řádu tisíců korun. Kola by zároveň musela být značně velká, neboť je zapotřebí překonat osovou vzdálenost větší, než je poloměr setrvačnicku. Technologičnost konstrukce pro hřídele, na nichž jsou kola upevněna, značně pokulhává, neboť by bylo nutné vyhotovit některý z nákladných tvarových prvků, jakými jsou např. drážkování nebo drážky pro pero apod. Výroba by pak vyžadovala frézku a obrážku s příslušenstvím pro výrobu těchto prvků.

Druhou variantou je převod ozubeným řemenem. Drážkovaný, ani klínový řemen není možné použít, neboť u nich není zaručen konstantní převodový poměr. Výroba ozubených řemenic se ale potýká se stejnými problémy jako výroba ozubených kol. Rozdílem je, že řemenice nevyžaduje tak tvrdé materiály, což je spojeno s lepší obrobitelností. Výhodou je, že se ozubený řemen nemusí, resp. nesmí mazat.

Třetí variantou je převod řetězem, jehož převod má nespornou výhodu v ceně výroby. Řetězová kola je totiž možné vyrábět na NC pálicích strojích z plechů požadované tloušťky. Dodatečná úprava těchto výpalků pro konečné použití je minimální a spočívá pouze v zaoblení špičky zubů. Vypálení jednoho páru kol laserovým paprskem pak vyjde v řádu stokorun. Připevnění na hřídel je pak možno zprostředkovat pomocí svarů nebo šroubů, což je mnohem levnější než obrábění tvarových prvků. Výčet variant včetně známkového hodnocení jejich vlastností nabízí tabulka 1.

	řetěz	ozubený řemen	čelní ozubení
cena	1	3	5
zástavbové rozměry	1	3	5
vůle	4	2	3
technologičnost	1	4	4
údržba	3	2	2
PRŮMĚR	2	2,8	3,8

Tab.1 – Známkové hodnocení pro varianty pohonu

3.2.1. Návrh řetězového převodu [16]

Protože je záměrem udržet rozměry a hmotnost dynamometru co nejmenší, je zapotřebí najít nejmenší možný řetěz, který dané zatížení přenesou. Velmi výhodného poměru únosnosti vůči velikosti dosahuje řetěz, jehož se často používá v závodních motokárách, ten nese označení ČZ 219 a používá se pro motokáry o zdvihovém objemu do 100 cm³. Jedná se o pouzdrový řetěz, který v závodních podmínkách přenáší výkony mnohdy větší než 11 kW, a to na jedno namazání před závodem.

Návrh vychází z myšlenky, že je zapotřebí použít co nejmenší kola, přičemž limitujícím faktorem je pevnost upevnění k hřídeli menšího z kol, což je výpalek z plechu o síle 5 mm. Upevnění musí být demontovatelné, a musí být co nejsnáze vyrobitelné, přičemž nesmí být z hřídele setrvačnicku odstraněn středící důlek. Ponechání důlku je zde nutné z důvodu upnutí mezi hroty kvůli upnutí při eventuální opravě, vyvážení, kontrole házivosti apod. Dalším limitujícím faktorem je síla v řetězu, která s klesajícím průměrem kol roste.

Typ	Rozteč p (mm)	Vnitřní šířka (mm)	Průměr pouzdra (mm)	Délka čepu (mm)	Tloušťka destičky vnitřní/vnější (mm)	Statická pevnost F_B (N)	Hmotnost (kg/m)	Spojovací článek	Typ těsnícího kroužku
219	7.774	4.6	4.59	12.15	1.4/1.3	9500	0.3	není	není

Tab 2 – Údaje řetězu ČZ 219 [16]

Průvodce výpočtem řetězového převodu ČZ (zdroj č. 7) uvádí minimální poměr mezi pevností řetězu a skutečnou silou $k_s \geq 7$. Na základě vztahů definující průměr roztečné kružnice a sílu v řetězu byla sestavena rovnice určující minimální počet zubů kola pohánějící setrvačnick:

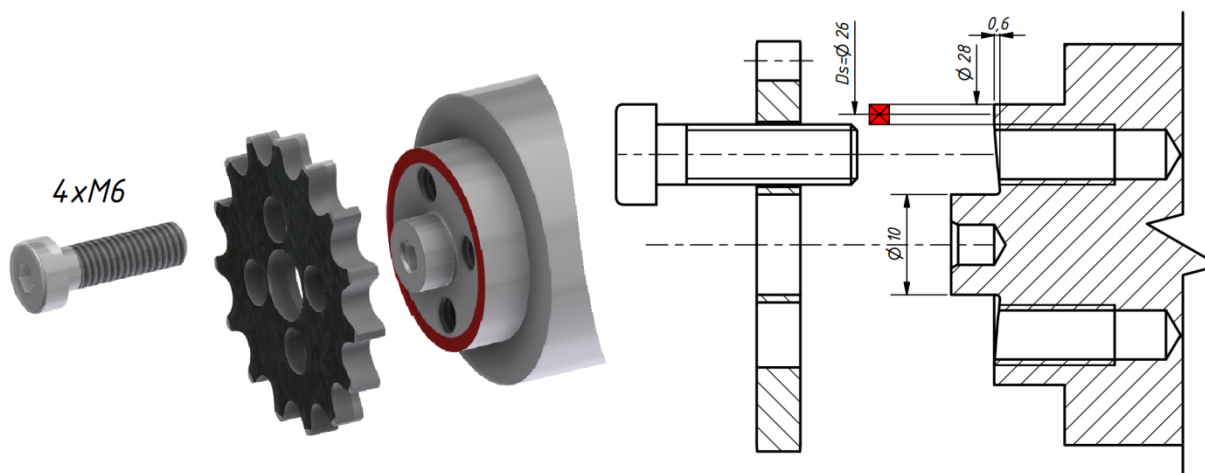
$$z_{min} \geq \frac{180}{\arcsin\left(\frac{p \cdot F_B}{2 \cdot k_s \cdot M \cdot i}\right)} \quad (16)$$

kde:

M - max. točivý moment motoru (12,5 Nm z modelového příkladu v kap. 3.1)

i - převodový poměr mezi motorem a setrvačnickem (1,875 z model. příkladu)

Pro modelový příklad, jenž má reprezentovat hraniční stav, vychází z_{min} 14,4 zubu. Nejblíže vyšší je tedy 15 zubů, přičemž většímu kolu přísluší zubů 60. Pro maximální otáčky zastupuje odstředivá složka celkové síly přibližně 4 %, což umožňuje ji zanedbat v rovnici 16, neboť by její zohlednění v této rovnici vyžadovalo iterační výpočet.



Obr. 15 - Schéma spojení 15z. kola s hřídelí setrvačnicku.

Po zjištění počtu zubů je zapotřebí provést pevnostní kontrolu spojení menšího kola s hřídelí, jehož základní rozměry vyplývají z obr. 15. Průměr 28 je největší možný průměr, který nevadí destičkám řetězu. Při tloušťce styčného mezikruží 2 mm (červená) vychází tedy styčný průměr $D_s=26$. Mezikruží vznikne čelním odlehčením, jenž se vysoustruží rohovým nožem. Tento průměr se používá pro kontrolní výpočet únosnosti spojení, jenž funguje na principu tření v ploše červeného mezikruží. Kontrola se opírá o bezpečnostní koeficient definován jako:

$$s_{15z} = \frac{4 \cdot F_{M6} \cdot f \cdot \frac{D_s}{2}}{M \cdot i} \quad (17)$$

kde:

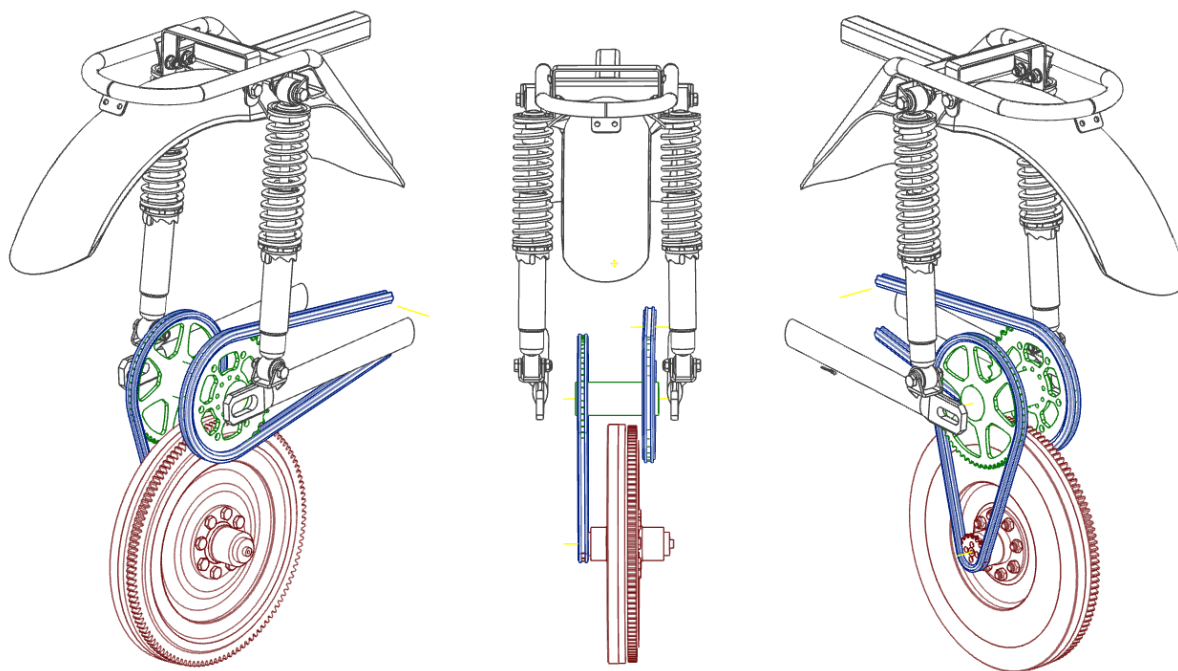
F_{M6} - osová síla ve šroubu M6 (7500 Nm pro šroub 8.8)

f - koeficient tření (0,15 pro styk ocel-ocel)

Pro hodnoty M a i z rovnice 16 vychází $s_{15z}=2,5$.

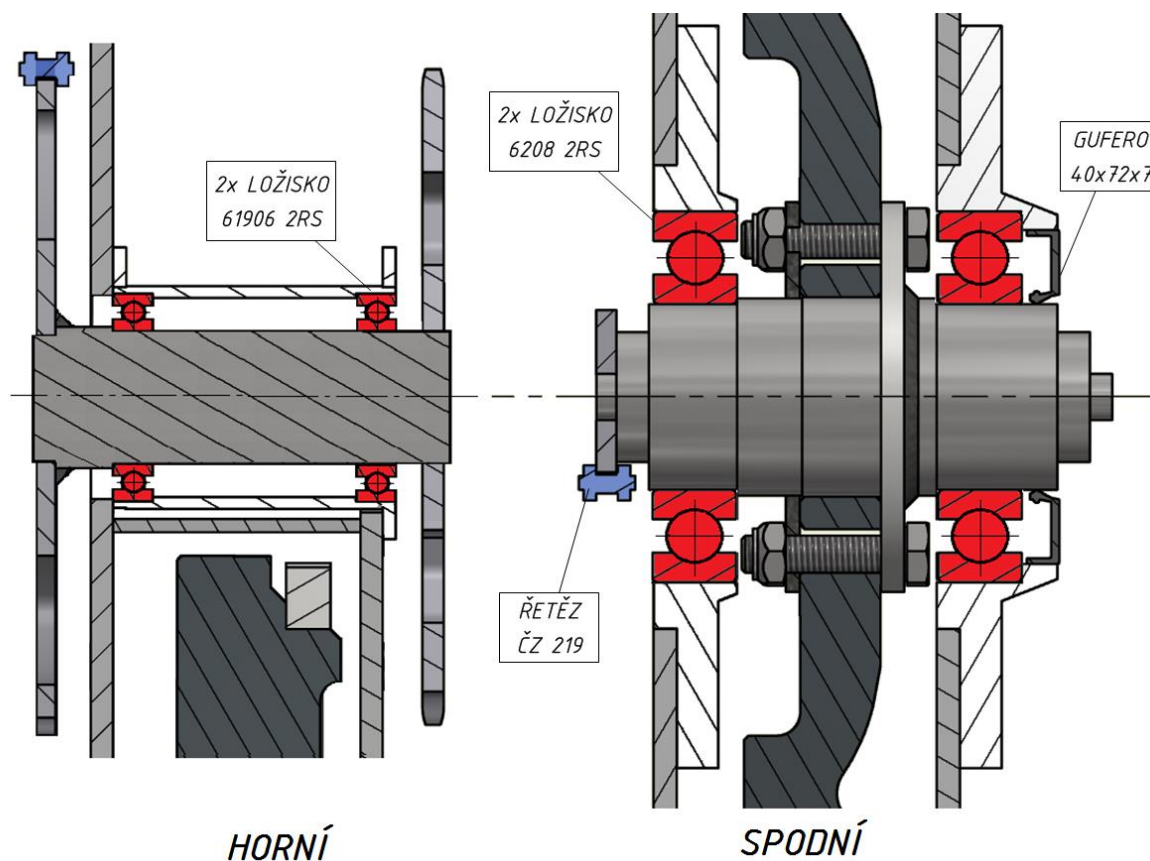
3.2.2. Návrh uložení hřídelí

Vzhledem k tomu, že přibližná podoba řetězového převodu je již navržena, je na místě navrhnout uložení obou hřídelí. Nároky na tato uložení, která budou dále nazývána jako spodní a horní, jsou kladeny na jejich rozměry, a to proto, aby se vešly do kyvné vidlice i těch nejmenších motocyklů. Představu o přibližném umístění hřídelí v motocyklu Jawa 50 podává obr. 16.



Obr. 16 - Schéma umístění hřídelí v kyvné vidlici

Požadavkem na tato uložení je možnost změnit jejich osovou vzdálenost, a to z důvodu ideálního napnutí řetězu. Nyní je ale zapotřebí navrhovat obě uložení komplexně, protože musí být uložena v jedné schránce, jež rotující setrvačnick zapouzdří, a to z důvodů zejména bezpečnostních. Schránka je tvořena dvojicí plechových výpalků o tloušťce 5 mm, k nimž je zapotřebí připevnit uložení ložisek.



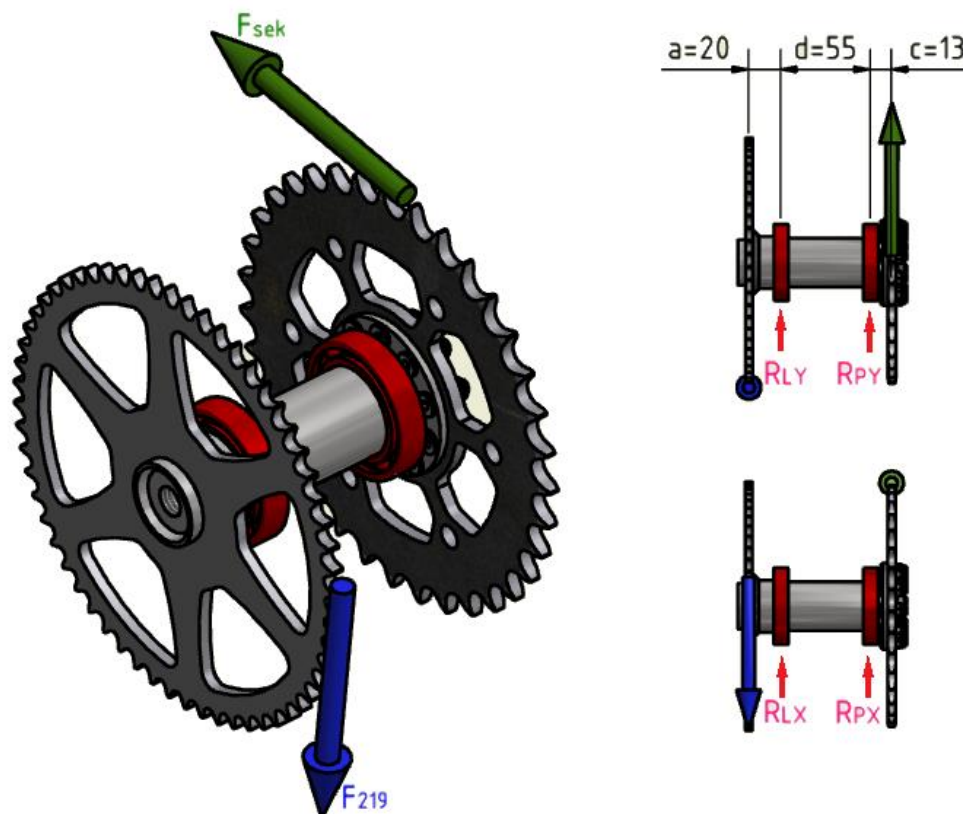
Obr. 17 - Schéma uložení horní a spodní hřídele

Spodní uložení má velké nároky na tuhost, neboť příliš poddajné uložení by mohlo být rotujícím setrvačnickem rozkmitáno a vznikaly by nežádoucí vibrace. Vzhledem k ceně, jednoduchosti a minimalizaci potřebného prostoru bylo všude použito kuličkových ložisek oboustranně krytých pryžovým těsněním. Ta jsou umístěna tak, aby co nejlíže lemovala uložení setrvačnicku. Mezi pryžovými kryty je dávka plastického maziva, které maže kuličky po celou dobu životnosti ložisek.

Horní uložení je v odnímatelném pouzdře, jež se dá posouvat po schránce, čímž se dá dosáhnout požadovaná změna osové vzdálenosti v rozsahu přibližně ± 1 mm, což stačí na pokrytí výrobních tolerancí a opotřebení. Zde volená ložiska jsou mnohem menší, a to z důvodu, aby bylo možno udržet osovou vzdálenost co nejkratší, což tkví ze snahy udělat celkové zařízení co nejmenší. Problémem je ale zaručit smontovatelnost tohoto uložení. Zde již nelze provléci hřídel ložisky a řetězová kola přišroubovat, jako tomu bylo u 15z. kola, protože u těchto kol, jenž jsou přibližně 4x větší, by tření způsobené dotážením kola na čelo hřídele nestačilo k převodu kroutícího momentu a docházelo by pak ke smykovému namáhání šroubů, což je v tomto případě nepřijatelné. Návrh tohoto spojení je popsán v kap. 3.2.4.

3.2.3. Kontrolní výpočet ložisek

Vzhledem k tomu, že horní uložení obsahuje ložiska s menší únosností, která jsou zároveň více namáhána, protože jsou dále od řetězových kol a zároveň přenášejí sílu od sekundárního řetězu, bude zde probírána kontrola pouze horních ložisek.



Obr. 18 - Síly na horní uložení

Vzhledem k tomu, že průměry obou kol jsou velmi podobné, je možné obě síly od řetězů F_{sek} a F_{219} nahradit společným označením F . Ze schématu na obr.18 je možné sestavit rovnice pro reakce v ložiscích:

$$R_L = \sqrt{R_{LX}^2 + R_{LY}^2} = \sqrt{(F \cdot (1 + \frac{a}{b}))^2 + (F \cdot (\frac{c}{b}))^2} \quad (18)$$

$$R_P = \sqrt{R_{PX}^2 + R_{PY}^2} = \sqrt{(F \cdot (\frac{a}{b}))^2 + (F \cdot (1 + \frac{c}{b}))^2} \quad (19)$$

kde:

F - tah. síly v řetězech (1357 N jako max. provozní síla pro ČZ219 dle [16], [17])

R_L - reakce v levém ložisku (1878 N)

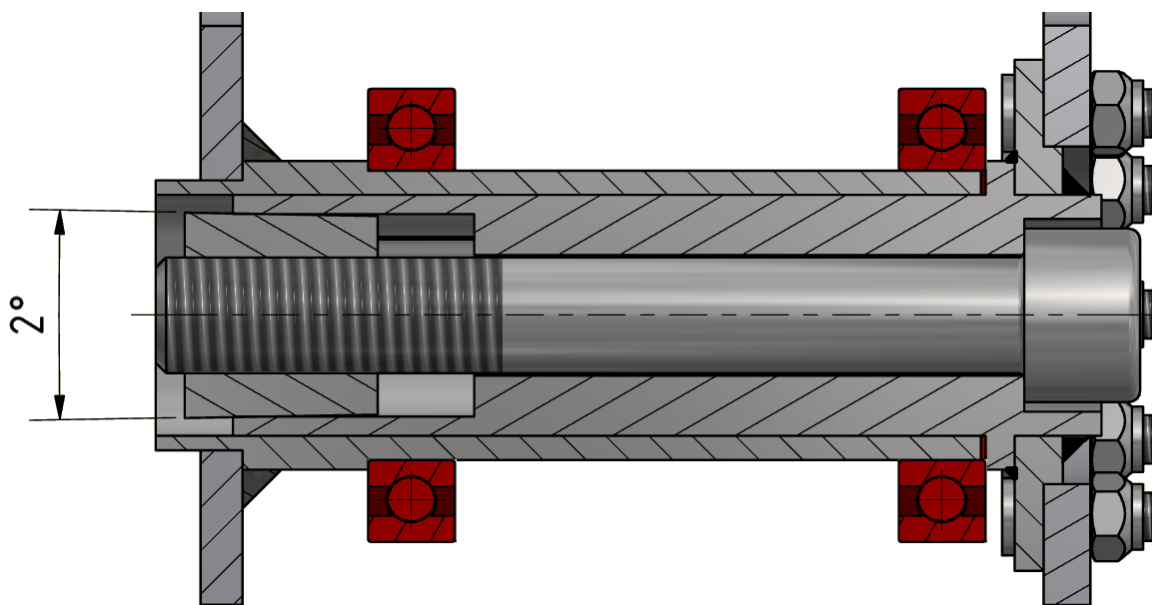
R_P - reakce v pravém ložisku (1748 N)

Norma ISO 281 zmiňuje rovnice zahrnující výpočet trvanlivosti ložisek, podle těchto rovnic vychází pro tento případ trvanlivost $58 \cdot 10^6$ otáček. Pro představu, na motocyklu s 16" kolem o obvodu 1,7 m tato trvanlivost odpovídá ujeté vzdálenosti cca 100 000 km.

3.2.4. Návrh horního hřídele [4]

Problémem u horní hřídele je to, že je zapotřebí ji vsunout do ložisek s dírou 30 mm a zároveň na ně upevnit plechové výpalky řetězových kol. Známa spojení, jako jsou např. kolíková, drážková, spoje perem apod., zde nejen neobstojí při kontrolním výpočtu, ale zároveň je u nich zapotřebí frézování, což by výrobu značně prodražilo.

Jedno z kol je možno na hřídel nalisovat a posléze zajistit koutovým svarem. Nabízí se však tuto hřídel rozpůlit a na každou z polovin takto připevnit řetězové kolo. Posléze každou polovinu prostrčit z jedné strany a uprostřed spojit. Z této základní ideje vzešel návrh spojení dvou do sebe vsunutých dutých hřídelí spojených tzv. rozpěrným kuželem. V podstatě se jedná o třecí spoj, který má navíc tu výhodu, že v případě náhlé poruchy umožní prokluz, čímž působí jako momentová spojka.



Obr. 19 - Třecí spoj v horní hřídeli

Pravá hřídel zahrnuje přírubu, ke které se šroubuje řetězové kolo sekundárního převodu, a to proto, aby bylo možné měnit pouze relativně levný výpalek v závislosti na tom, jaký sekundární řetěz daný motocykl má. Vsunutím pravé hřídele se šroubem a kuželem do hřídele levé se vymezi axiální vůle, přičemž následným utahováním šroubu M12 dojde k rozevření naříznutého konce pravé hřídele, čímž se vytvoří spojení mající únosnost danou rovnicí:

$$M = \left(\frac{F_{M12}}{f_k \cdot \cos\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) + \sin\left(\frac{\alpha_k}{2}\right)} - F_{EL} \right) \cdot f_h \cdot \frac{d_h}{2 \cdot 1000} \quad (20)$$

kde:

F_{M12} - osová síla ve šroubu (17600 N při utahovacím momentu 40 Nm)

α_k - vrcholový úhel kužele (2°)

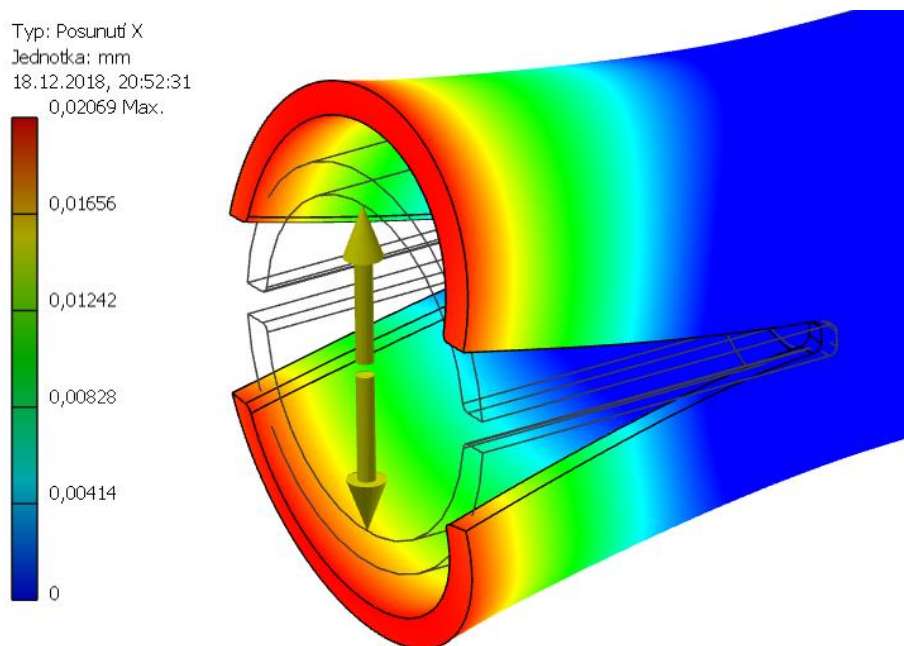
f_k - koeficient tření mezi kuželem a pravou hřídelí (0,15)

f_h - koeficient tření mezi levou a pravou hřídelí (0,1)

F_{EL} - normálová síla elastické deformace pro vymezení montážní vůle (100 N)

d_h - stykový průměr hřídelí (25 mm)

Moment M , který spojení přeneše, je 130 Nm při utažení šroubu momentem 40 Nm. Pro představu, tento moment tvoří cca 18 % z momentu vyvozeného maximální statickou silou, při níž praskne řetěz ČZ 219.



Obr. 20 - Rozevření konců hřídele silami F_{EL} o velikosti 100 N

Ačkoli utahovací moment 40 Nm je přibližně poloviční oproti maximu, jakým lze šroub M12 s označením 8.8 dotáhnout, není příliš vhodné oněch 40 Nm překračovat. Důvodem je potřeba opětovného rozebrání spoje, kdy je nutné kužel opětovně vytlačit, resp. vyrazit. K tomu dojde povolením šroubu cca o tři otočky a následným úderem do hlavy šroubu. Při tomto úkonu je vhodné podepřít řetězové kolo tak, aby nebyla při úderu zatěžována ložiska. Ačkoli by stran potřebné síly pro vtáhnutí kužele stačil šroub menší, je zde navržen šroub M12, aby se eliminoval vzpěr při vyrážení kužele.

Co se týče aretace kuželu při jeho utahování, zde díky jeho ostrému vrcholovému úhlu $\alpha=2^\circ$, stačí kužel natlačit rukou do konce hřídele, čímž je dostatečně sevřen a je tím znemožněno jeho protáčení. Dále je nutné v oblasti kužele mít vnější hřídel dostatečně zesílenou, neboť normálová síla kužele je schopna jí plasticky deformovat.

V takovéto konstrukci dynamometru, kde se využívá pro vytváření přírub na hřídelích lisování výpalků pojištěných koutovými svary, by se mohly tyto svary jevit jako slabé místo. Jako nejslabší místo po výše navrhovaném třecím spoji se jeví dvojice svarů jisticích přírubu (žlutá na obr. 21) k hřídeli (zelená). Modře je vyobrazeno řetězové kolo přišroubované deseti šrouby M5, jehož kontrolní výpočet probíhá na stejném principu, jako tomu bylo u 15z. kola kontrolovaného rovnicí 17. V koutových svarech je zapotřebí vyčíslit maximální tečné napětí τ_{MAX} , které je zde určeno jako součet napětí způsobeného krutem a smykem, resp. točivým momentem a tahem řetězu:

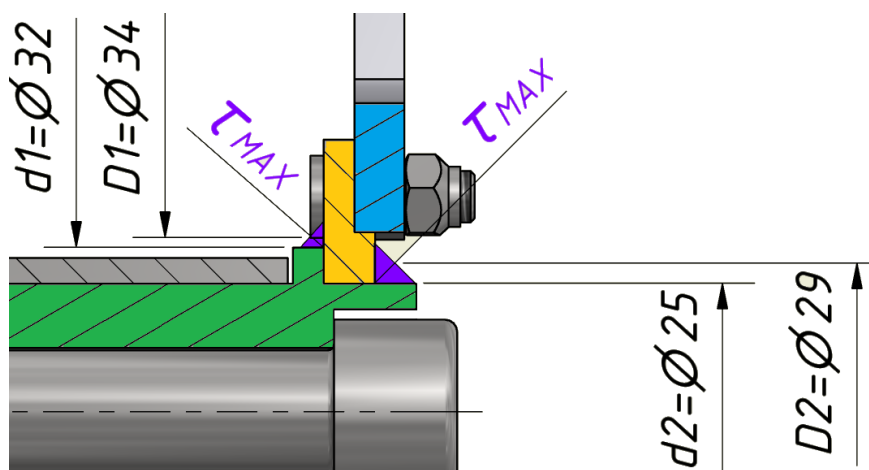
$$\tau_{MAX} = \frac{1000 \cdot M}{\frac{\pi}{16} \cdot \left(\frac{D_1^4 - d_1^4}{D_1} + \frac{D_2^4 - d_2^4}{D_2} \right)} + \frac{1000 \cdot M \cdot \frac{2}{d_{sek}}}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - d_1^2 + D_2^2 - d_2^2)} \quad (21)$$

kde:

M - maximální moment třecího spoje (130 Nm)

d_{sek} - průměr řetězového kola sekundárního převodu (140 mm)

Tečné napětí τ_{MAX} ve svarech na obr.21. bylo vyčísleno na 41 MPa. Dovolené tečné napětí při míjivém zatížení pro konstrukční oceli je určeno různými zdroji rozdílně. Např. zdroj č. 4 udává 48 až 70 MPa. V každém případě tento spoj dle těchto mezí vyhovuje. K obr. 21 je také nutné dodat, že svary nejsou vytvářeny na hřídel v podobě, tak jak jsou vyobrazeny, nýbrž jsou vyhotoveny před obrobením s určitým přídavkem, přičemž jsou následně přesoustruženy na podobu z obr. 21.



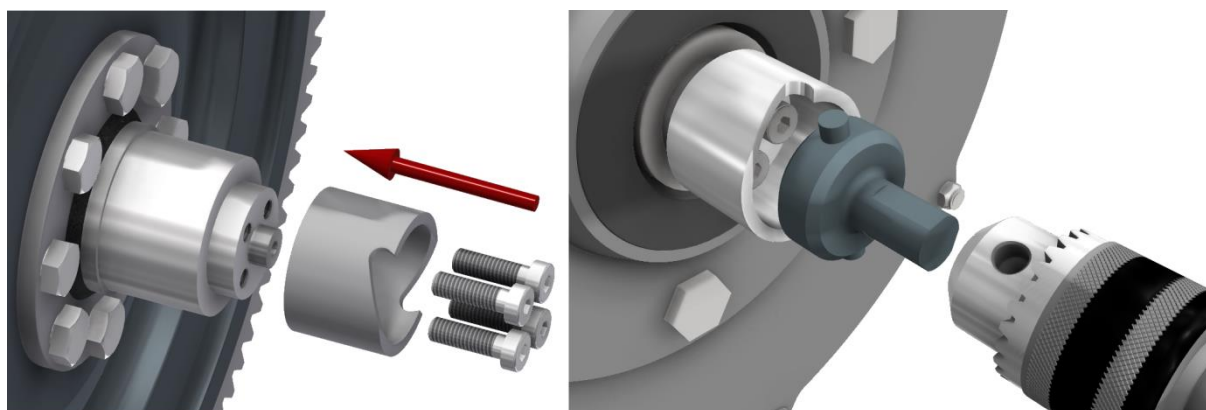
Obr. 21 - Schéma koutových svarů fixujících přírubu pro řetězové kolo sek. převodu

Spoj	bezpečnost	pozn.
Třecí spoj s kuzelem	1,39	obr. 19
Dvojice svarů u příruby a vnitřní hřídele	2,04	obr. 21, $\tau_{DOV}=60$ MPa
Koutový svar vnější hřídele a 60z. řetězového kola	1,80	vlevo na obr. 19, $\tau_{DOV}=60$ MPa
Šroubový spoj řetězového kola sek. převodu (10xM5)	1,76	vpravo na obr. 19
Šroubový spoj 15z. řetězového kola a hřídele setrvačnicku (4xM6)	2,50	obr. 15

Tab.3 – Koeficienty bezpečnosti pro riziková místa při maximálním zatížení (model z obr. 13)

3.2.5. Návrh startování

Vzhledem k tomu, že některé závodní motocykly z důvodu úspory hmotnosti nedisponují zařízením pro spouštění motoru (startují se roztláčením), je zapotřebí navrhnout jednoduchý startovací mechanismus pro dynamometr. U mnohých válcových dynamometrů není startování běžnou výbavou, neboť je možné motocykl roztláčit a posléze upevnit. To je ale vcelku obtěžující činnost, nehledě na rozdílnou upínací sílu, jež ovlivňuje pasivní odpory. Těžké válcové dynamometry někdy disponují mohutným elektromotorem se složitou soustavou pro uvedení do záběru. Zde se ale jedná o levný a přenosný dynamometr, tudíž jakákoli koncepce zahrnující drahý a těžký elektromotor nepřipadá v úvahu. Zde je výhodné využít toho, že měření se provádí prostorách, kde je k dispozici zpravidla velké množství dílenského vybavení. K tomuto vybavení bezesporu patří i obyčejná vrtačka.



Obr. 22 Startovací mechanismus

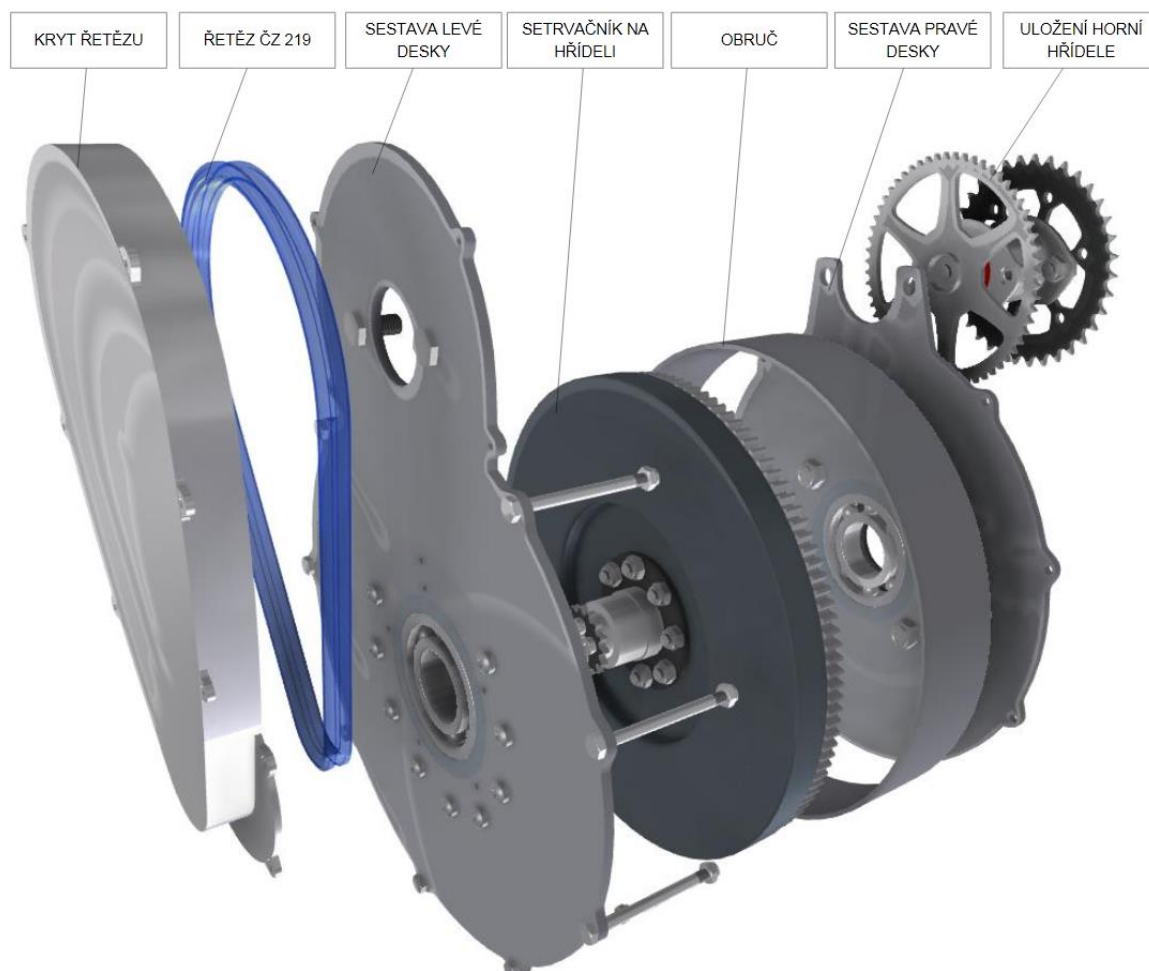
Na obr. 22 je znázorněno umístění prvku, jež se dá nalézt pod anglickým názvem "starting handle dog". Jedná se o startovací ozubec, jež se např. vyskytoval v minulosti na klikových hřídelích starých automobilů pro ruční startování klikou. Zde je namísto kliky unašeč, který se upne do klasického vrtačkového sklíčidla. Unašečem prochází radiálně zalisovaný kolík, jehož konce vytvářejí válcové výstupky umístěné po 180°. Tyto výstupky se opřou o plochy ozubce a přenáší točivý moment, jímž se roztočí setrvačnick. Po uvolnění spouště vrtačky je unašeč vysunut spirálovými drážkami z ozubce.

Obsluha pak má k dispozici několik vteřin k tomu, aby využila kinetickou energii setrvačnicku po zařazení rychlostního stupně k roztočení motoru. Ozubec je připevněn čtyřmi šrouby M6 na opačný konec hřídele než je umístěno 15z. řetězové kolo. Jelikož je upevnění stejné jako u zmíněného kola, není nutné provádět početní kontrolu, neboť točivý moment, na nějž je spojení dimenzováno, je větší než točivý moment, jež jsou schopny vyvinout běžné vrtačky.

Ačkoli by se mohlo zdát výhodné využít ke startování ozubený věnec setrvačnicku, k čemuž byl v automobilu určen, je nutno podotknout že otáčky, které startér setrvačnicku v automobilu udělí, se pohybují okolo 400 ot/min. Tyto otáčky nestačí ke startování některých vysokootáčkových strojů, jakými jsou např. závodních dvoudobé motory zejména malých zdvihových objemů, pro něž je tento dynamometr primárně určen.

3.3. Upevnění dynamometru

V předcházejících kapitolách byly zmíněny vybraná úskalí, kontrolní výpočty rizikových míst a vysvětlení ke klíčovým částem, které skýtá tělo vlastního dynamometru, jehož základní rozstřel je na obr. 23.



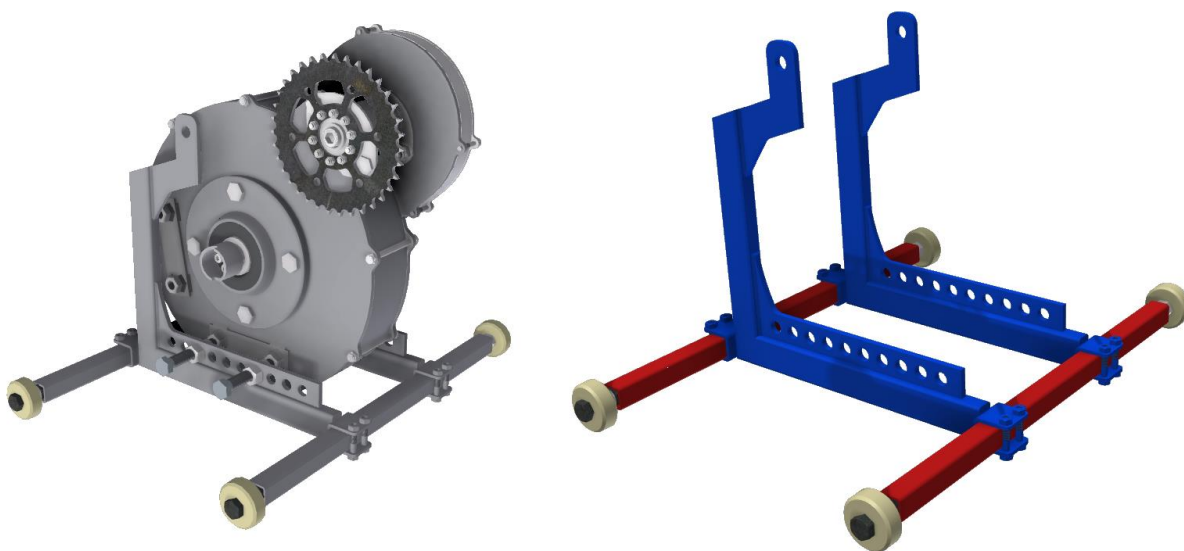
Obr. 23 - Rozstřel sestavy těla dynamometru

Otázkou ale stále zůstává, jak toto tělo zafixovat v kyvné vidlici motocyklu tak, aby toto uložení bylo tuhé a přitom natolik variabilní, aby jej bylo možno upevnit ve většině motocyklů. Uchycení musí umožňovat změnu šířky uchycení pro různé vzdálenosti konců kyvné vidlice, jež se pohybují v přibližném rozsahu od 120 mm pro mopedy až po 250 mm pro větší motocykly. Dále je nutné mít možnost posouvat s tělem dynamometru v příčném směru motocyklu proto, aby bylo možné udržet řetězová kola sekundárního převodu v zákrytu a nekřížil se tak řetěz. Dalším nárokem je posouvání v podélném směru motocyklu proto, aby bylo možno dynamometr umístit co nejbližše motoru, popř. kompenzovat napětí řetězu. Posledním pozičním požadavkem je možnost otočení celého dynamometru, a to z důvodu, aby jej bylo možno používat i pro motocykly mající řetěz na levé straně.

Požadavky splní jedině zvláštní stojan, který se upevní za prvek, jenž je pro všechny motocykly takřka stejný. Tímto prvkem jsou konce kyvné vidlice, kterými se provléká osa pro zadní kolo. Při konstrukci tohoto stojanu, je třeba si uvědomit, že již nelze upevnění provést pomocí této osy, nýbrž dvou šroubů, protože v prostoru osy se vyskytuje dynamometr.

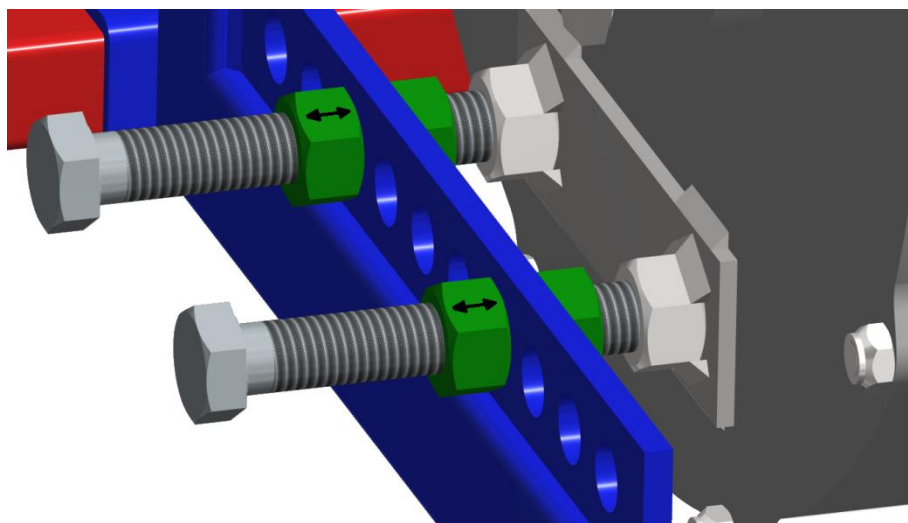
3.3.1. Návrh stojanu

Stojan se musí skládat ze dvou polovin, mezi kterými bude dynamometr umístěn, a vzdálenost mezi nimi se bude měnit podle šíře kyvné vidlice. Zapotřebí je, aby bylo možné rozteč těchto polovin měnit plynule, což je provedeno svěrnými spoji mezi polovinami (modrá na obr. 24) a příčnými nohama (červená). Plynulou změnu vzdálenosti dynamometru od motoru umožňují v určitém rozsahu (většinou 25 mm a více) oválné otvory v kyvné vidlici motocyklu. Dynamometr je možno ve stojanu přemísťovat v otvorech od sebe vzdálených o 20 mm, což společně se zmíněným rozsahem 25 mm umožňuje nastavit zařízení do potřebné vzdálenosti od motoru.



Obr. 24 - Předběžná podoba stojanu

Samotné tělo je k stojanu přichyceno dvěma páry šroubů M12, jenž je možno prostrčit otvory v polovinách stojanu (modrá). Tyto šrouby musí být dostatečně dlouhé proto, aby jejich délka pokryla celý šířkový rozsah nastavení stojanu. Rozteč polovin je dán vzdáleností matic (zelená na obr. 25), jimiž se poloviny ke šroubům fixují. Šrouby se zároveň dotahují do matic, které jsou přivařeny k tělu dynamometru. Na jednom takovém šroubu jsou tedy dohromady tři matice.

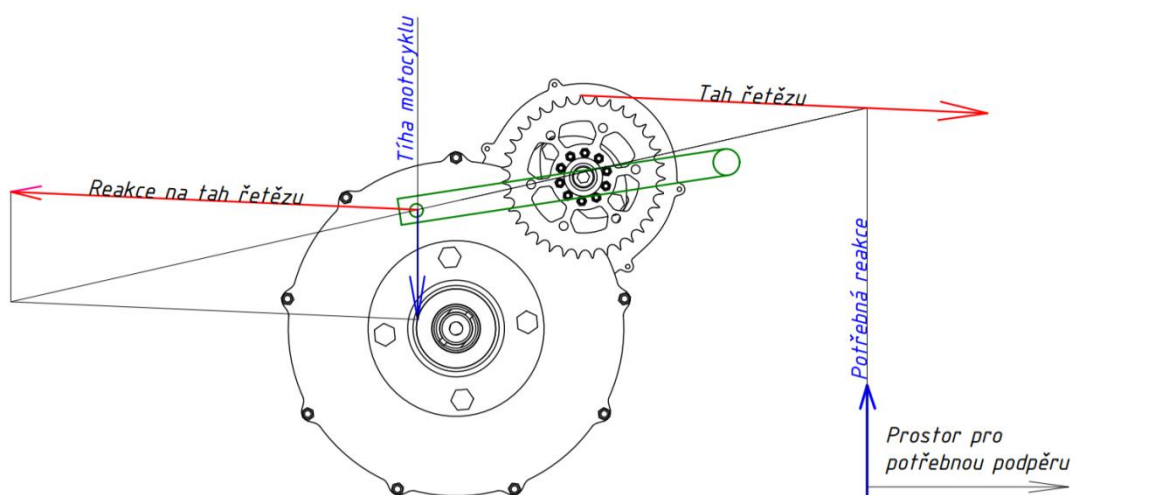


Obr. 25 - Ukotvení těla dynamometru ke stojanu

Přivařené matice na těle dynamometru jsou umístěné na distanční podložce, tato podložka s maticemi se na těle dynamometru vyskytuje ve dvou párech. Druhý pár podložek totiž umožňuje celé tělo upnout obráceně, a to z důvodu používání i pro motocykly s řetězem umístěným vlevo.

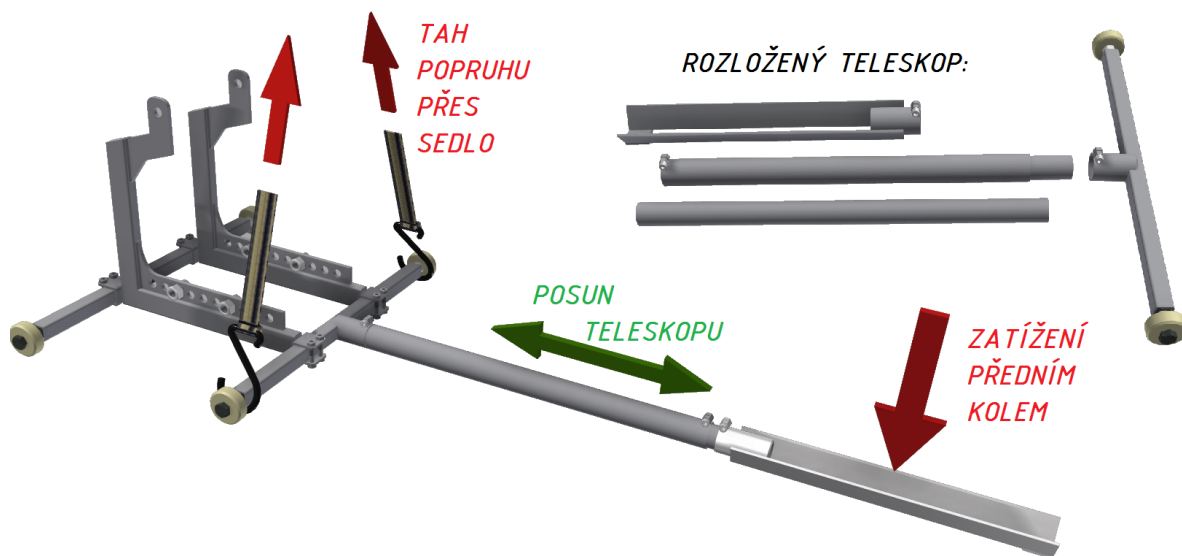
3.3.2. Momentová reakce

Důležité je rovněž vyřešit tzv. záchyt momentové reakce, což je prvek jímající silový efekt, jehož projevem je snaha o protočení dynamometru, resp. vzepření motocyklu. Síly působící na dynamometr jsou graficky vyřešeny na obr. 26.



Obr. 26 - Síly působící na dynamometr

Z grafického rozboru plyne, že přední noha stojanu dynamometru by musela být relativně daleko (přibližně pod středem motoru). Níže navržené řešení tuto reakci nahrazuje a navíc poskytuje další výhody. Jedná se o teleskopickou vzpěru, kterou je možno délkově nastavit podlé délky motocyklu.

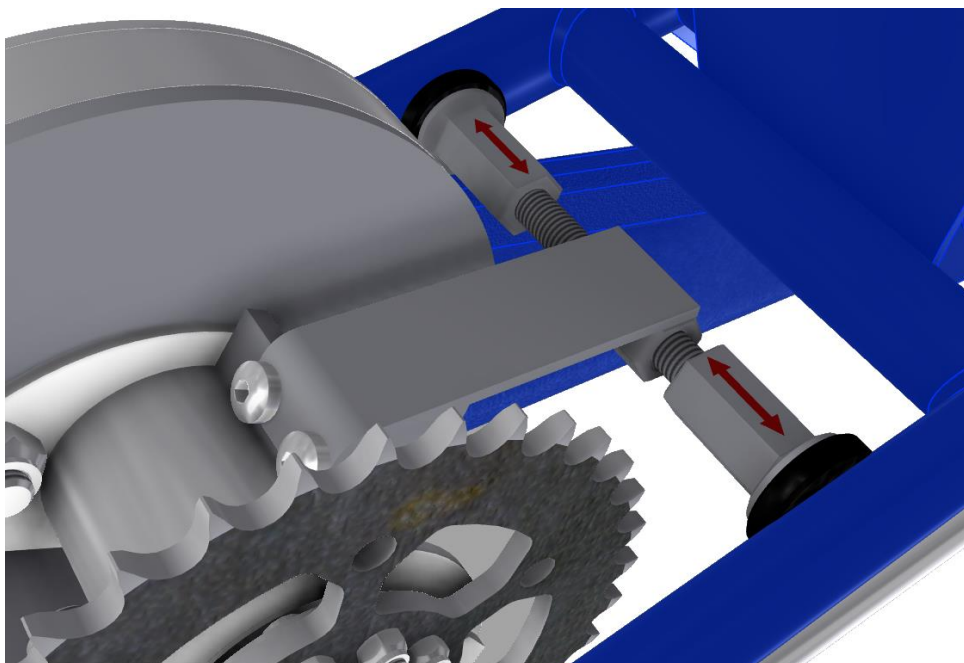


Obr. 27 - Funkce teleskopické vzpěry

Na konci této vzpěry je držák pro přední kolo, který nejen fixuje polohu řízení, ale zároveň umožňuje přitáhnout motocykl popruhem přes sedlo, čímž se navýší tuhost celé soustavy. Popruh rovněž vyvozuje předpětí v zadním odpružení motocyklu, což zabraňuje pohybu kyvné vidlice způsobeným jak tahem řetězu, tak i tíhou samotné obsluhy, která na motocyklu může sedět. Délka teleskopu je v každém posuvném spojení fixována sevřením pomocí šroubu M6. Po povolení těchto tří šroubů je možné teleskop lehce sbalit do podoby o třetinové délce mající hmotnost 2 kg, což vyhovuje snadnému přenášení a skladování. Celý stojan je pak na polyamidových kolečkách

3.3.3. Příčná aretace

Jelikož je poloha řetězového kola dynamometru vůči motoru určena relativně poddajnou soustavou kyvné vidlice a stojanu, je zapotřebí polohu tohoto kola zafixovat v příčném směru vůči přední části kyvné vidlice.

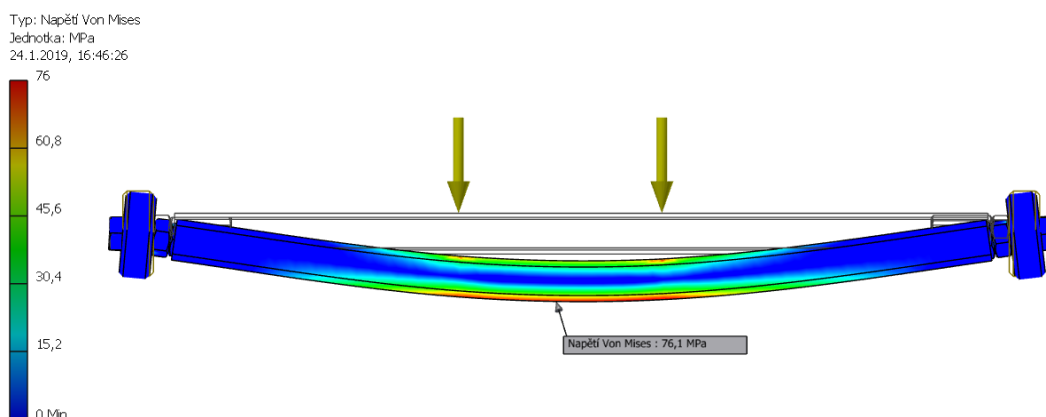


Obr. 28 - Funkce příčné aretace

Tuto úlohu plní část nazvaná jako příčná aretace. Jedná se v podstatě o dvojici rozpěrných matic, které je možné od sebe libovolně oddálit natočením na závitové tyči M10. Tyto matice jsou opatřeny na koncích gumovými dorazy, aby je bylo možno přitlačit k jakémukoli profilu kyvné vidlice. Matice je možné dotáhnout plochým klíčem velikosti 17, čímž toto zařízení značně zvýší tuhost celé soustavy.

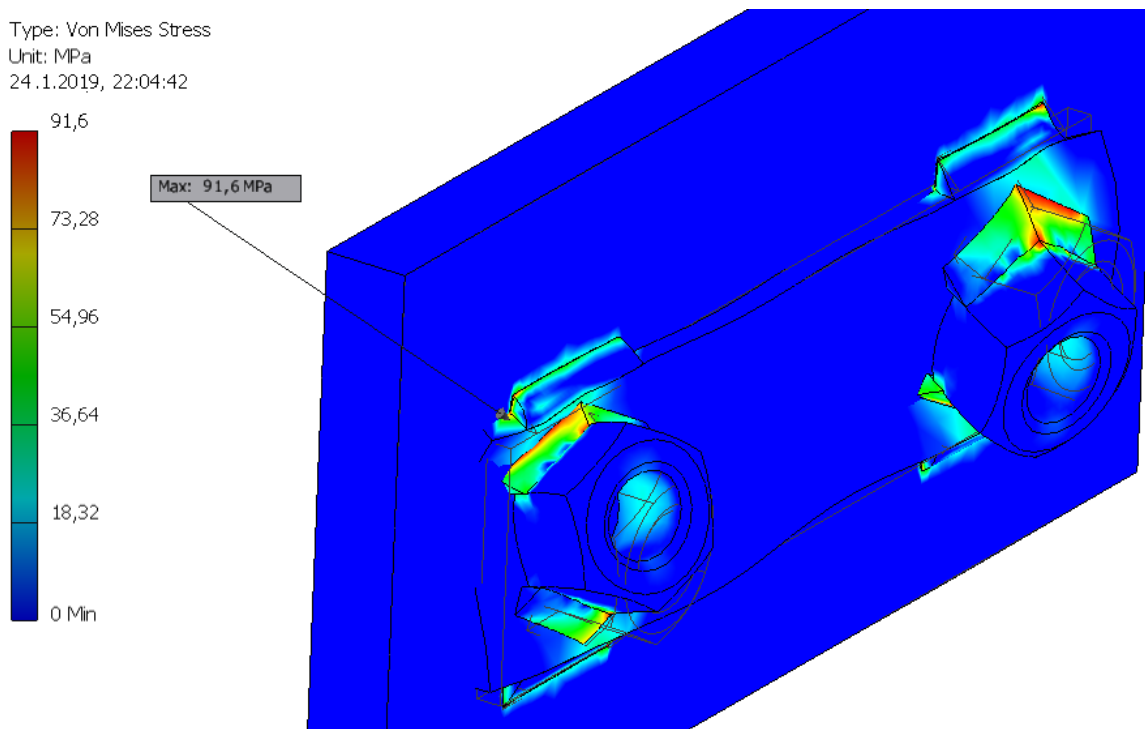
3.3.4. Pevnostní kontrola upevnění

Stejně tak jako byla početně ověřena pevnost pohonné části, kdy koeficienty bezpečnosti rizikových bodů obsahuje tab. 3. na str. 25, je zapotřebí ověřit i pevnost stojanu resp. celého upevnění. Upevnění zahrnuje tři kritická místa. Jedná se o příčník (zadní), jenž je namáhán tíhou zadní části motocyklu a obsluhy. Pro tento prvek bylo vyčísleno zatížení o velikosti 2×800 N. Síly jsou od sebe vzdáleny tak, jak je možné k sobě nejvíce poloviny stojanu přiblížit.



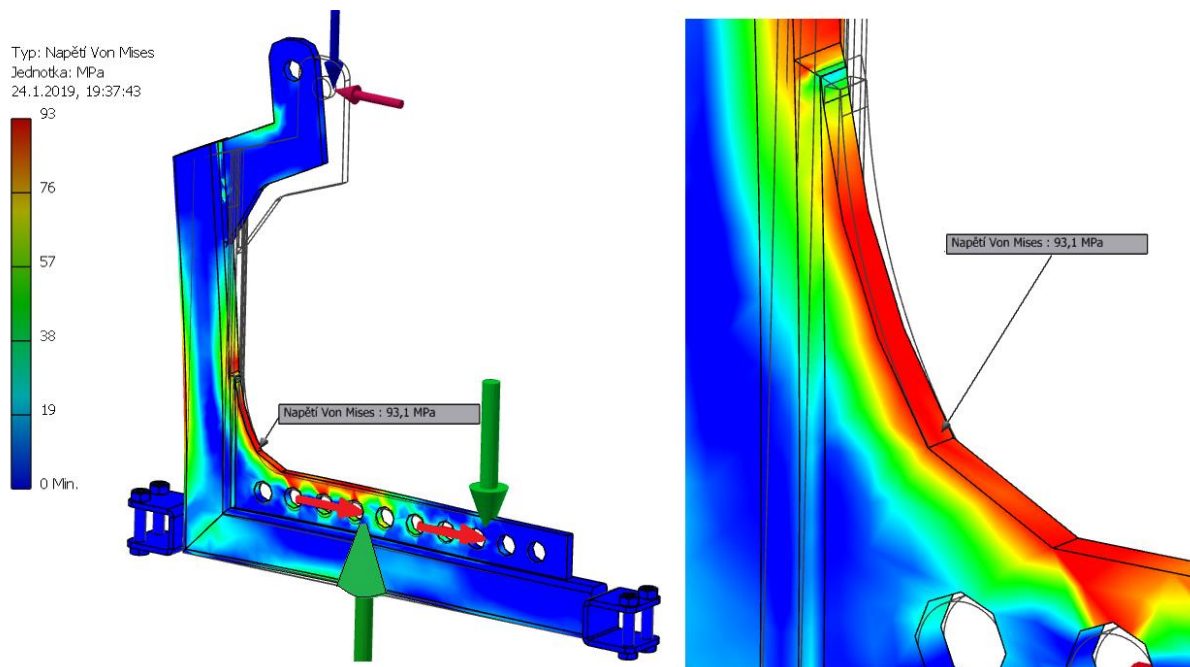
Obr. 29 - Napětí v příčniku

Druhým místem je distanční podložka s maticemi resp. koutové svary, jenž ji fixují k desce dynamometru. Matice jsou vystaveny působením soustavy sil stanovenou tak, aby zůstala zachována rovnováha vůči červeně vyznačeným silám na obr. 26. Ačkoli je tento prvek zatěžován na obou stranách, zde je proveden rozbor prvku na straně sekundárního řetězu, protože je zatížen více. Zde je počítáno s tím, že prvek na straně sekundárního řetězu přebírá 80 % silového účinku vyvozeného tahem řetězu.



Obr. 30 - Napětí v okolí matic

Posledním prověřeným místem je polovina stojanu jako celek. Zeleně na obr. 31 je vyznačena silová dvojice přenášející momentový účinek dvou červeně vyznačených sil z obr. 26, dvě červené síly působící na stejná místa pak přenáší samotný tah řetězu jako takový. Červená síla v úchytu pro kyvnou vidlici reprezentuje reakci na tah řetězu. Modrá síla pak reprezentuje tíhu motocyklu stejně tak, jako tomu bylo na obr. 26.



Obr. 31 - Napětí v polovině stojanu

Výše uvedená napětí jsou vypočtena na základě mezního zatížení, které trvá velice krátce. Jedná se o mívivé zatížení, pro něž je dle zdroje č. 4 brána mezní hodnota napětí jako 120 MPa. Výše uvedené prvky (kromě matic) jsou z ocele S355 mající mez kluzu 355 MPa.

Zatížené místo	bezpečnost	pozn.
Příčník	1,58	obr. 29
Okolí matic (distanční podložka)	1,31	obr. 30
Polovina stojanu	1,29	obr. 31

Tab.4 – Koefficienty bezpečnosti pro riziková místa uchycení (dov. napětí: 120 MPa)

Zároveň je třeba mít na vědomí, že namáhání těchto prvků také snižuje příčná aretace, s níž v simulaci nebylo počítáno z důvodu jejího obtížného zahrnutí ve výpočetním modelu.

3.4. Technologie výroby

Výroba výše uvedeného zařízení zahrnuje nejen obrábění, ale i svařování, ohýbání a samozřejmě montáž. Technologie dohromady s konstrukčním návrhem byla vytvářena tak, aby pro výrobu stačilo co nejmenší množství strojů a nástrojů, neboť dynamometr jako takový není zboží, které by se vyrábělo ve větším množství kusů a jedná se tedy o výrobu kusovou. Následující technologické postupy jsou tedy vždy vytvářeny tak, aby bylo výrobu možné zprostředkovat i v těch nejméně vybavených dílnách. Výjimkou jsou laserové výpalky, jež jsou vzhledem k jednoduchosti procesu vedeny jako nakupované položky. Pro níže uvedené součásti bude vyjádřen popis jejich výroby, podle nichž se součásti dynamometru skutečně vyrobí.

3.4.1. Výroba spodního uložení

Spodní uložení zahrnuje dvojici ložiskových domků, jenž přes ložiska upevňují hřídel se setrvačником. Po vynechání normalizovaných součástí, jakými je 10 šroubů M8 včetně samojistných matic upevňující setrvačnik k hřídeli a jeden pár ložisek 6208-2RS s guferem, zbývají 2 různé ložiskové domky a hřídel, které je třeba vyrobit.

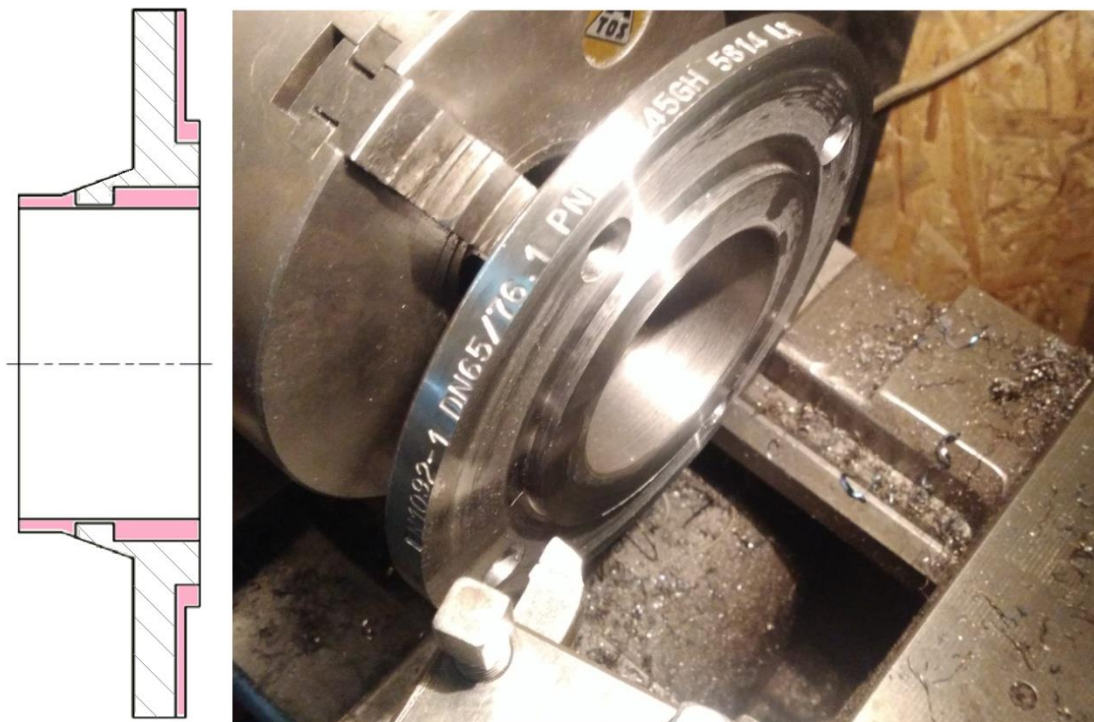


Obr. 32 - Stranové pohledy na spodní uložení (uložení setrvačniku)

3.4.1.1. Výroba ložiskových domků

Rozdíl mezi domky je nejlépe patrný z obr. 32, jedná se o téměř stejné součásti v podobě silné příruby, kdy pravý domek má navíc ještě osazení pro gufero. Pokud by se tyto domky soustružily z plného materiálu, jednalo by se vcelku o zbytečně náročnou operaci s velkým podílem odpadního materiálu. Proto jsou tyto domky vyrobené z polotovaru, jenž se dá zakoupit jako příruba s krkem DN65 dle EN1092-1 za přibližnou cenu 150 Kč.

Soustružení probíhá na dvě upnutí, přičemž ke všemu stran nástrojového vybavení stačí pouze vnitřní a vnější nůž. Otvory, které jsou již součástí samotné příruby, jsou zároveň použity pro upevnění domku s guferem k tělu dynamometru. Druhý domek je upevněn pomocí závitových děr, jež jsou v něm vytvořeny ručně. Poloha těchto děr je definována dírami ve výpalku, k němuž se domek šroubuje.



Obr. 33 - Soustružení domku a odpadní materiál (růžová)

3.4.1.2. Výroba hřídele setrvačnicku

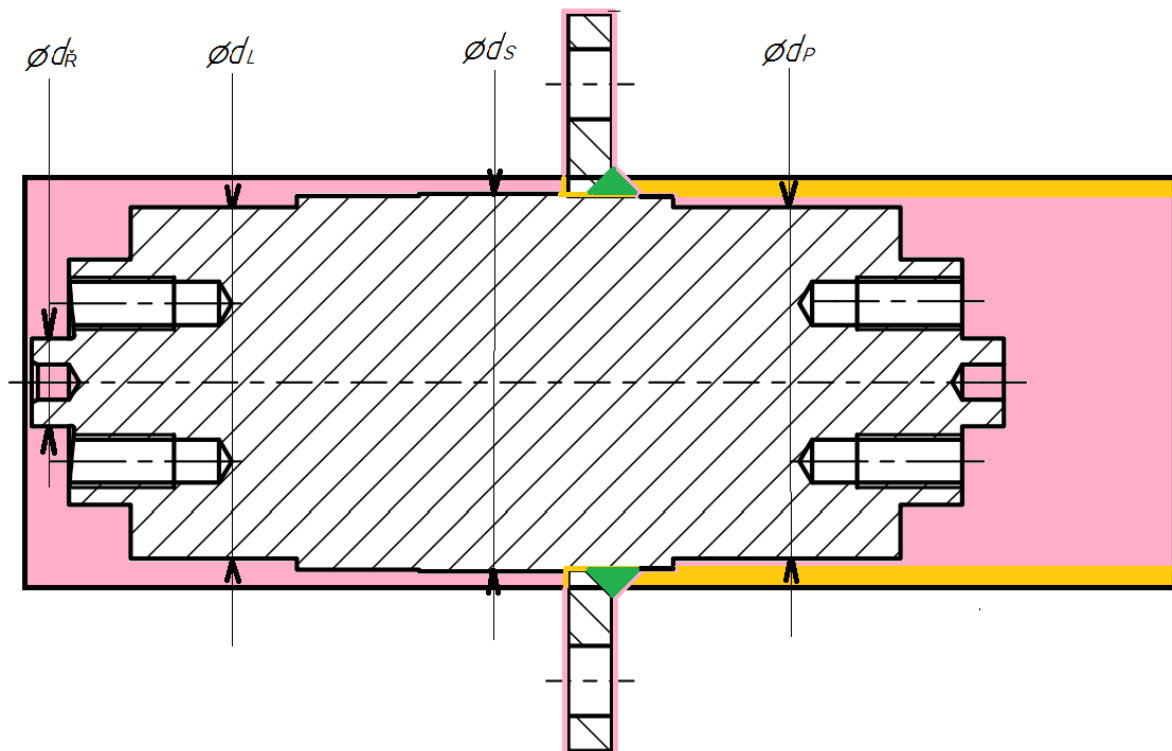
Z důvodu úspory materiálu, času při soustružení a vyloučení vrtání děr do příruby pro setrvačnick je hřídel vytvořena jako svařenec z tyče o průměru 45 mm a vypálené příruby s vnějším průměrem 84. Nejprve se na tyči vytvoří osazení odsoustružením žlutě zvýrazněného materiálu na obr. 35. K tomuto osazení se nalisuje výpalek, jenž se pojistí koutovým svarem. Ihned po svaření se celek vloží do popela nebo vermikulitu, kde se nechá pozvolně vychladnout.



Obr. 34 - Svařenec hřídele chlazení v popelu

Dostatečný přesah příruby vůči hřídeli před svařením je klíčový, neboť by se příruba při malém přesahu mohla uvolnit a byla by pak přivařena křivě. Tendence k uvolnění je značná, neboť v průběhu svařování, popř. předehřevu, dojde dříve k prohřátí tenčí příruby než hmotnější hřídele, čímž může dojít k vymizení přesahu a uvolnění příruby.

Pro následující obrázky jako např. obr. 35 je nutné vysvětlit význam jednotlivých barev. Vnější obrys rotačních částí zvýrazněný obdélníkem reprezentuje tyčový polotovar, přičemž žlutě vyznačené plochy vyjadřují objem odsoustružený před svařením. Zeleně jsou vyznačeny svary, které upevňují nalisovaný výpalek na upravený polotovar. Růžovým plochám pak přísluší materiál odsoustružený po svaření.



Obr. 35 - Hřídel setrvačnicku a odpadní materiál při soustružení (nejprve žlutá, pak růžová)

Z důvodu správného běhu setrvačnicku je nesmírně důležité dodržet co nejmenší odchylku sousostí kótovaných průměrů na obr. 35. Proto se musí tyto průměry vyhotovit na jedno upnutí a to sice za pravou část v univerzálním sklíčidle s podepřením za středící důlek vlevo. Část vpravo od $\varnothing d_P$ se dohotoví posléze při druhém upnutí za levou část, neboť zde stačí již dodržení tolerance sousostí pomocí vystředění od $\varnothing d_P$ ručičkovým indikátorem do 0,04 mm. Míra pro $\varnothing d_S$ je volená s přesahem, aby se na něj dal setrvačnick nalisovat a byl tak dostatečně vystředěn. Zbylé průměry jsou voleny pro vytvoření přechodného uložení z důvodu usnadnění montáže.

Dvě čtveřice závitových otvorů v čelech hřídele jsou vytvořeny ručně. Vrták $\varnothing 4,5$ mm je vždy vystředěn otvorem $\varnothing 4,5$ ve výpalku menšího řetězového kola. Po vrtání první díry do hřídele (z obou čel), dojde k vyvrtání otvoru vrtákem $\varnothing 5$ a vyhotovení závitů M6. V řetězovém kole se jedna z děr vyvrtá na $\varnothing 6,2$ a použitím této díry se kolo zafixuje šroubem M6 k hřídeli. Zbylé díry v kole $\varnothing 4,5$ pak slouží k vystředění vrtáku pro vyhotovení zbylých děr, které se následně rovněž zvětší na $\varnothing 5$ a vyřízne se do nich závit M6. Tímto způsobem je pak možné vytvořit přesně umístěnou soustavu otvorů bez potřeby dělicího přístroje a frézky.

3.4.2. Výroba opláštění

Opláštění se skládá ze dvou bočních desek a obruče. Obruč je deskami stažená pomocí osmi šroubů M6 a sestavou horního uložení, čímž se vytvoří pevná schránka.

Obruč vznikne skružením ocelového pásu, resp. výpalku o tloušťce 3 mm. Skružení a následné svaření probíhá rovněž ručně. Po svaření je obruč spasována a ručně opracována, přičemž odchylky tvaru jsou zjišťovány při položení na jednu z bočních desek.

Desky jsou tvořeny rovněž výpalky z materiálu S355J2, tj. nelegované jakostní konstrukční ocele. Z tohoto materiálu jsou zde vytvořeny všechny výpalky vyjma řetězových kol. Řetězová kola jsou vypálena z materiálu HARDOX 500, neboť se již dříve velmi osvědčil i v terénních podmínkách jako materiál pro rozety závodních speciálů.

Na každou z desek je přivařena dvojice podložek s maticemi M12, jimiž se opláštění upevňuje ke stojanu. Umístění podložek s maticemi je definováno laserovým popisem, jenž se vyhotoví při pálení. Deska na straně řetězového převodu obsahuje navíc dvojici šroubů M10, které slouží pro uchycení horního uložení hřídele. Tyto šrouby jsou k desce přivařeny proto, aby se neprotáčely při dotahování matic, protože je k jejich hlavám špatný přístup kvůli řetězovému převodu.



Obr. 36 - Deska ze strany řetězového převodu

Ke zmíněným úpravám výpalky desky patří navíc řezání závitů M5, do kterých patří šrouby víka řetězového převodu. Po sražení hran a povrchové úpravě jsou desky hotovy, na obr. 36 je povrch rotačně kartáčován a opatřen bezbarvým lakem.

3.4.2.1. Výroba víka řetězového převodu

Víko je rovněž svařencem ze třech výpalků, ke kterým je navíc přivařena matice M6, jenž zde tvoří funkci zesílení pro závit napouštěcího šroubu. Otvorem v matici při se do prostoru pod víkem vpraví při montáži mazivo injekční stříkačkou. Lem víka je skružen z ocelového pásu tloušťky 2 mm, ke kterému jsou zbylé dílce přivařeny koutovými svary, jak je znázorněno na obr. 37. Svařování je vhodné provádět při staženém víku k desce opláštění.

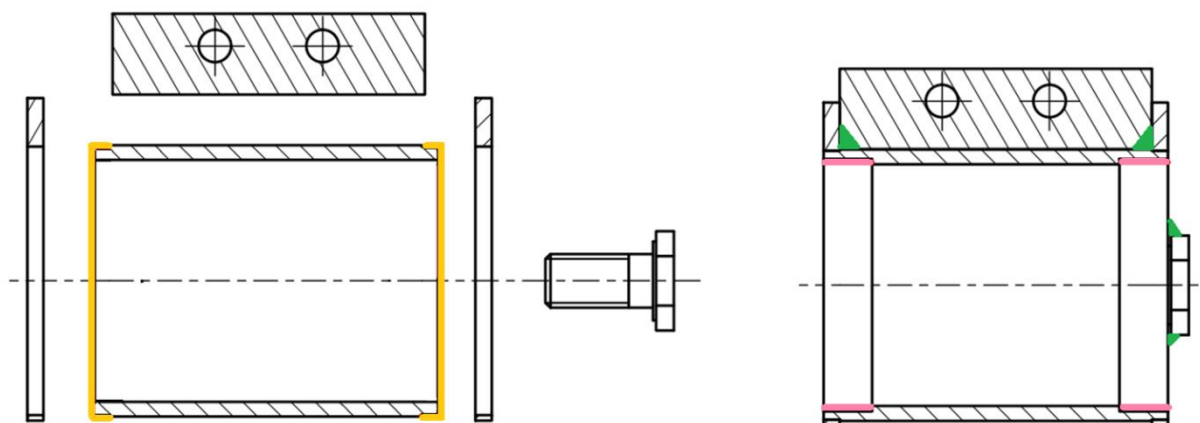
Po svaření je víko opět ručně opracováno s ohledem na těsnící plochu tak, aby posléze při utěsnění silikonovým tmelem nedocházelo k unikání maziva.



Obr. 37 - Části víka

3.4.3. Výroba horního uložení

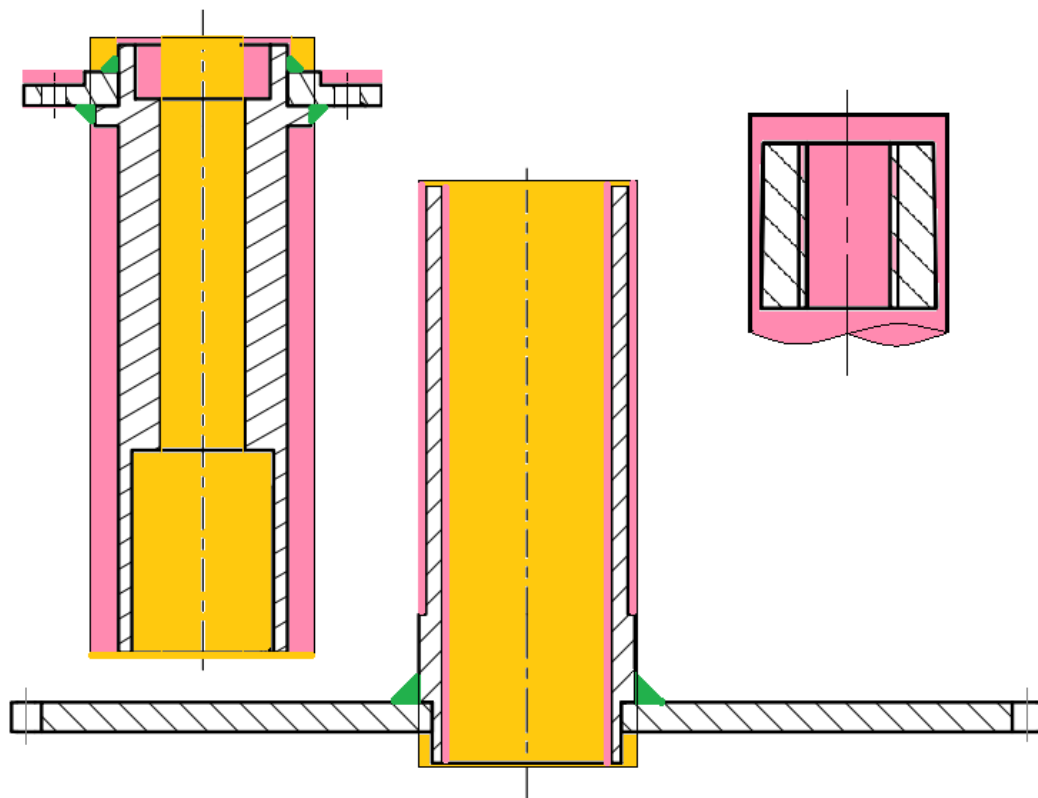
Hlavní část horního uložení tvoří pouzdro, ve kterém jsou nalisována ložiska. Pouzdro se skládá z trubky, u níž se vysoustruží osazení pro dvě příruby, které se k trubce přivaří koutovými svary stejně jako držák pro příčnou aretaci a dva šrouby M10. Šrouby mají snížené hlavy proto, aby bylo možné vnější řetězové kolo mít co nejbližší a dynamometr nebyl zbytečně rozšiřován.



Obr. 38 - Soustružené plochy pouzdra

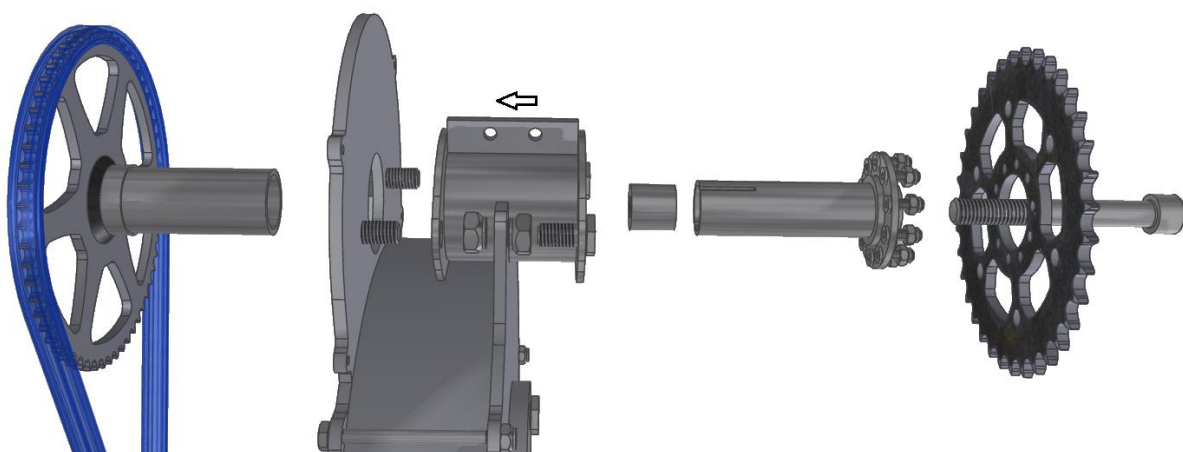
Horní uložení se dále skládá z dvojice do sebe zapadajících hřídelí rozvíraných kuželem, jak bylo vysvětleno v části zabývající se návrhem. Tyto hřídele se vyrábějí podobným způsobem jako hřídel setrvačnicku. Pro svařování je důležité to, aby byla pokud možno kladena pouze jedna vrstva svarové housenky, protože jakýkoli opakovaný ohřev svarem a chladnutí má za následek nežádoucí deformaci. Typickým příkladem je svar fixující řetězové kolo k vnější hřídeli horního uložení, který je schopen řetězové kolo prohnout na takovou míru, že posune ozubení až o několik milimetrů směrem k desce.

Odebírání materiálu ve znázorněném sledu na obr. 39 má mimo jiné také za účel vytvořit před svařením přibližně stejné tloušťky spojovaných materiálů. Klíčové je tolerovat všechny 3 rotující části vůči sobě tak, aby se zaručila bezvadná funkce svěrného spojení. Vzhledem k povaze výroby pak vcelku nezáleží na přesné hodnotě průměru, na kterém se vyráběné součásti lícují (např. vnější průměr vnitřní hřídele vůči vnitřnímu průměru hřídele vnější), jako spíše na vztahu mezi nimi. V tomto případě je zapotřebí dodržet nejmenší možnou montážní vůli.



Obr. 39 - Rotující části horního uložení

U tolerování kužele k vnitřní hřídeli je zapotřebí zaručit dostatečně velký přesah kužele vůči otvoru tak, aby nebylo možné jej celý vtáhnout dovnitř, nýbrž maximálně 3/4 jeho délky, protože by se pak ztratilo předpětí celého spoje. Naopak lícování k nakupovaným položkám jako jsou ložiska a výpalky, je zapotřebí provádět na přesně danou míru tak, aby průměr pod ložisky měl co nejmenší vůli (do 0,02 mm), zatímco průměr pod výpalky měl co největší přesah (až 0,1 mm). Proříznutí konce vnitřního hřídele, jenž umožňuje jeho rozepření, postačí vytvořit řezným kotoučem v úhlové brusce



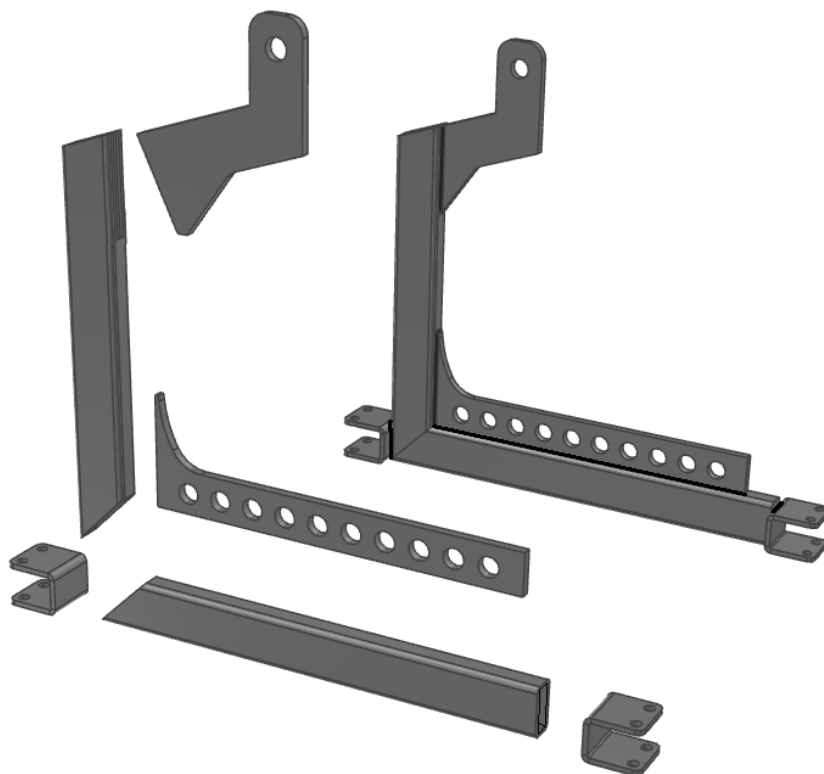
Obr. 40 - Umístění horního uložení do těla dynamometru

Založení celku do dynamometru je zapotřebí provést postupně, tj. nejdříve přišroubováním samotného pouzdra s ložisky, do kterých se posléze uloží hřídele a zajistí vtažením kužele.

3.4.4. Výroba stojanu

Stojan se skládá ze dvou stejných polovin, spojených dvěma příčnicí, přičemž tuhost této soustavy zvyšuje příčná a momentová aretace (teleskop). Nosný základ obou polovin tvoří L útvar z trubky obdélníkového průřezu 30x15x2, ke kterému jsou přivařeny jednotlivé prvky vytvořené z výpalků. Tyto prvky slouží ke spojení nosníku s ostatními částmi. Vreční výpalek je vsazen do proříznutí ve svislém jeklu a následně přivařen. Vsazení do proříznutí jednak umožní snazší ustavení při svařování a zároveň zvyšuje únosnost spoje. Dolní lišta s řadou děr je přivařena s odsazením od vodorovného jeklu tak, aby se zvětšil závar a zároveň povrch housenky nepřekážel maticím, které jsou na šroubech procházejících dírami.

Oba výše popsané výpalky jsou z plechu tloušťky 5 mm. Posledním dílcem jsou objímky, což jsou výpalky o tloušťce 3 mm ohnuté do tvaru U. Zde je třeba dbát na přesné a ostré ohyby, aby šrouby následně prostrčené předvypálenými dírami těsně lemovaly příčnicí, jež jsou objímkami staženy.



Obr. 41 - Spojení částí polovin stojanu

Nejjednodušší součástí stojanu jsou dva příčnicí, jejichž základ tvoří jekl 20x20x2. Do jejich konců jsou vraženy prodlužovací matice M10 pojištěné svarem z jejich čela. V maticích jsou šrouby pojištěné kontramaticí proto, aby se dala nastavit axiální vůle polyamidového kolečka na šroubu. Kolečka jsou také vyráběna z běžného polymidu PA6 upíchnutím navrtané tyče. Přední příčnicí má navíc ještě objímku pro upevnění teleskopu (momentové reakce), ta je navařena s mírným sklonem vzhůru proto, aby se soustava zatížením lehce napružila a tím zvýšila svou tuhost.

Teleskop je tvořen bezešvými trubkami, které se do sebe volně zasouvají, proto je zapotřebí zařídit, aby trubky nebyly nijak poškozeny, např. promáčknutím, ohnutím atp. Výroba stojanu dále nevyžaduje žádný další komentář, neboť se jedná o množinu základních zámečnických operací, ke kterým stačí pouze výkres.

3.4.5. Výroba startovacího mechanismu

Startovací mechanismus je složen ze startovacího ozubce a unašeče. Ozubec je přišroubován k hřídeli setrvačnicku, zatímco unašeč je součástí příslušenství, jenž se upíná do vrtačky pro potřeby startování. Unašeč je díl vzniklý soustružením z tyčového polotovaru. Kolmo na osu je v části největšího průměru vyvrtán průchozí otvor $\varnothing 6$. Do otvoru se nalisuje kolík tak, aby přesahoval přes unašeč o přibližně stejnou vzdálenost na obou stranách.

Ozubec je rovněž vysoustružen z tyčového polotovaru, přičemž otvory pro upevnění pomocí šroubů M6 jsou vyhotoveny svrtáním s výpalkem řetězového kola proto, aby nebylo potřeba použít dělicí přístroj. Výběry v ozubci, do nichž zapadají vyčnívající části kolíku unašeče, jsou ručně pilovány tak, aby součásti do sebe přesně zapadly, a zároveň je bylo možné při přerušení startování od sebe snadno oddělit.

Výše popsané výrobní postupy jsou navrhovány s ohledem na minimální strojní vybavení proto, aby bylo možné co největší množství operací vyhotovit i v nejméně vybavených dílnách, nebo přímo v domácím prostředí. Samozřejmě, že by nebyl problém některé prvky (zejména pole děr) vyrobit jinak pomocí frézky nebo soustružnicko-frézovacího centra, ale to není záměrem těchto postupů. Důvodem je minimalizace nákladů na výrobu, resp. na přístup k těmto výrobním strojům, protože se dynamometry nebudou vyrábět ve větším počtu najednou, nýbrž vždy jako nepravidelná odezva na poptávku malého množství zákazníků.

3.5. Montáž dynamometru

Prvotní montáž začíná lisováním setrvačnicku na hřídel, zde je zapotřebí respektovat natočení děr v setrvačnicku vůči dířám příruby tak, aby bylo možné díly sešroubovat. Dalším krokem je upevnění ložiskových domků s nalisovanými ložisky. Zde je možné ložiska v případě malého přesahu pojistit lepidlem např. Loctite 603. Styčné plochy ložiskových domků a desek se potírají tenkou vrstvou silikonového tmele. Domky se následně přišrouboují k deskám v poloze daných obrázkem č. 17.

Do kteréhokoli z přišroubovaných domků se vsune hřídel se setrvačnickem, přičemž styčné plochy obrouče a obou desek se potřou silikonovým tmelem na motory. Dále se k sobě desky s obroučemi přiloží a bez dotažení šroubů se silikon nechá vytvrdnout. Po vytvrdnutí (cca 2 hodiny) je možné obě poloviny stáhnout osmi šrouby M6. Toto stažení je nutné provádět až po vytvrzení proto, aby se ve vrstvě tmele vytvořil dostatečný tlak, a tím byl spoj dostatečně těsný. Význam utěsnění bude vysvětlen později.

Pro přišroubování startovacího ozubce a menšího řetězového kola na konce spodní hřídele je možno přistoupit k montáži řetězového převodu. K tomu je zapotřebí vsunout horní pouzdro s ložisky a zároveň do ložisek zasunout velké řetězové kolo včetně řetězu. Je nutné mít na vědomí to, že použitý řetěz ČZ 219 nedisponuje spojovacím článkem. Horní pouzdro se upevní dotažením čtyř matic M10 tak, aby řetěz byl správně napnutý a zároveň řetězová kola byla v zákrytu. Tento zákryt se kontroluje hloubkoměrem jako vzdálenost mezi lícem velkého kola a desky dynamometru na čtyřech místech. Jako správné napětí řetězu se hodnotí stav, kdy je možné řetěz vychýlit volným pohybem ruky o 3 až 4 mm na každou stranu. Osovou vzdálenost kol je možné měnit posunutím pouzdra o 0,5 mm na jednu stranu od teoreticky ideálního stavu směrem k sobě (pro povolení řetězu) a o 1,5 mm směrem od sebe (pro napnutí řetězu).

Po montáži řetězového převodu je možné jej zakrýt krytem. Není vhodné provozovat dynamometr bez tohoto krytu, protože jeho příruba zároveň slouží jako doraz pro ložisko a hrozilo by tak jeho vypadnutí. Kryt se těsní stejným způsobem jako obruč.

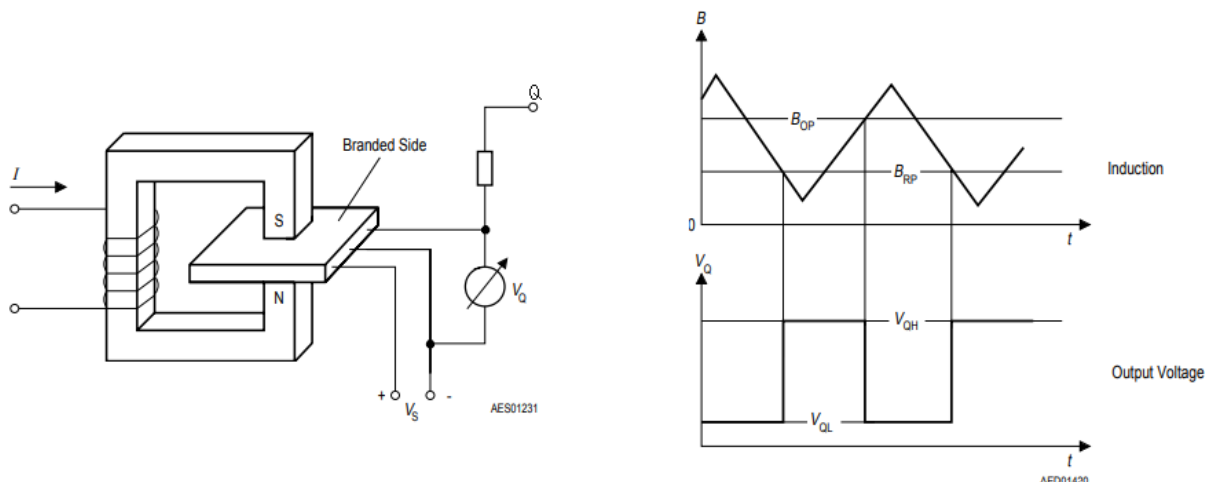
Montáž stojanu je vcelku triviální záležitost. Na příčníky se upevňují kolečka, kde se maticí seřídí jejich co nejmenší axiální vůle a namažou se plastickým mazivem. Příčníky se vsadí do objímek obou polovin stojanu a upevní se čtyřmi páry šroubů M6. Mezi poloviny se pak vsadí tělo dynamometru a upevní se maticemi na šroubech M12. Po upevnění senzoru a příčné aretace je dynamometr připraven k použití, resp. k upevnění k motocyklu. Upevnění senzoru včetně jeho návrhu a výroby bude popsán později

3.6. Návrh snímače [6], [9]

Základní funkcí snímače je rozpoznání přítomnosti magnetu a okamžitá reakce v podobě odeslání čísla, jenž se rovná době, která uplynula od poslední detekce magnetu. Tato doba se v případě jednoho magnetu na rotoru rovná době jedné otočky, jenž byla v teoretické části práce označena jako dt . Aby nebylo zapotřebí používat desetinný oddělovač, je posílaná hodnota v mikrosekundách. Přenos hodnot probíhá prostřednictvím sériové komunikace skrz USB kabel. V případě, že se rotor točí příliš pomalu nebo se netočí vůbec, posílá senzor každou sekundu číslo rovné cca 1 000 000 proto, aby se nepřerušil přenos dat sériovou komunikací.

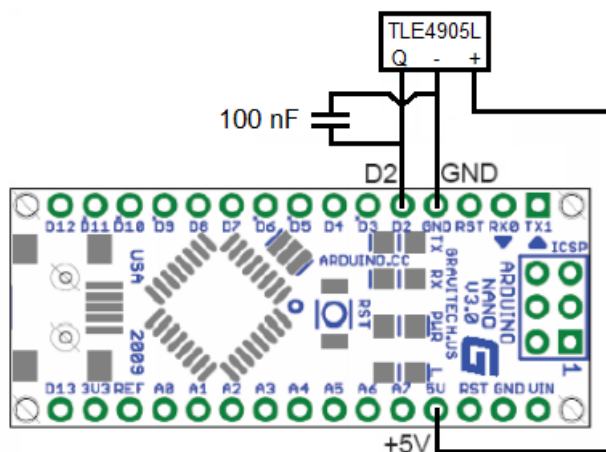
Snímač je tvořen mikrokontrolerem Arduino Nano, program pro něj se vytváří v jazyce Wiring, jenž funguje na bázi jazyka C++. Mikrokontroler pracuje s pětivoltovou logikou a procesorem o frekvenci 16 MHz. Frekvence procesoru totiž ovlivňuje rozlišení hodnoty zaznamenaného času, které je v tomto případě 4 μ s. Toto rozlišení společně s tolerancí použitého senzoru tvoří hlavní část celkové tolerance zaznamenaného času.

Použitým senzorem k mikrokontroleru je Hallova sonda. Jedná se o unipolární Hallovu sondu s označením TLE4905L. Tato sonda využívá Hallova jevu k tomu, aby při průchodu magnetického toku měnila napětí na výstupním vodiči, na jehož nárůst (nebo pád) reaguje mikrokontroler tzv. přerušením. Magnetický tok je vybuzen tyčovým magnetem, jenž musí být vůči Hallově sondě přesně orientován, neboť záleží na směru magnetického toku skrze sondu. Závislost analyzovaného napětí na magnetickém toku je na obr. 42.



Obr. 42 - Charakteristika unipolární Hallové sondy TLE4905L [18]

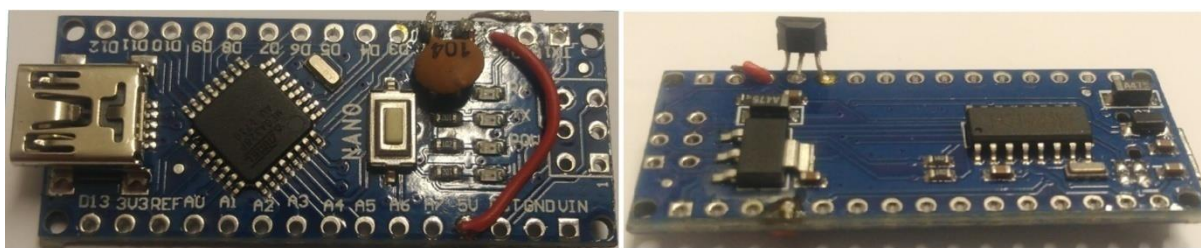
Výstupní vodič Q je přiveden na vstupní pin mikrokontroleru podporující zmíněné přerušení. Zaznamenání je velice citlivé a v případě, že není pin ničím osazen, spouští se přerušení i na dotek prstu, jenž je způsoben statickým nábojem na lidské kůži. Při použití pouze Hallovy sondy by zařízení fungovalo do okamžiku, dokud by nedošlo např. k nastartování motoru s neodrušenou zapalovací soustavou, nebo jinému rušivému jevu. Toto rušení totiž způsobí změnu napětí na výstupním pinu kontroleru, resp. na vodiči Q u sondy. Reakce na toto rušení je tím větší, čím delší je tento vodič, který v tomto případě působí jako anténa. Tato nežádoucí změna napětí pracuje v určité frekvenci, kterou je třeba odrušit. K tomu se používá kondenzátoru, jehož kapacita se určuje v závislosti na frekvenci, kterou je třeba odfiltrovat. V praxi se k tomuto účelu často používá keramického kondenzátoru o kapacitě 100 nF.



Obr. 43 - Schéma zapojení senzoru [19]

3.7. Výroba snímače

Výroba snímače spočívá v zapojení součástek dle schématu na obr. 43 tak, aby byly splněny dvě základní podmínky. První podmínkou je, aby vodič připojený na pin D2 byl co nejkratší z důvodu eliminace nežádoucího rušení. Druhou podmínkou je, aby Hallova sonda byla orientována správně vůči snímanému magnetu.



Obr. 44 - Arduino Nano osazené Hallovou sondou a odrušovacím kondenzátorem

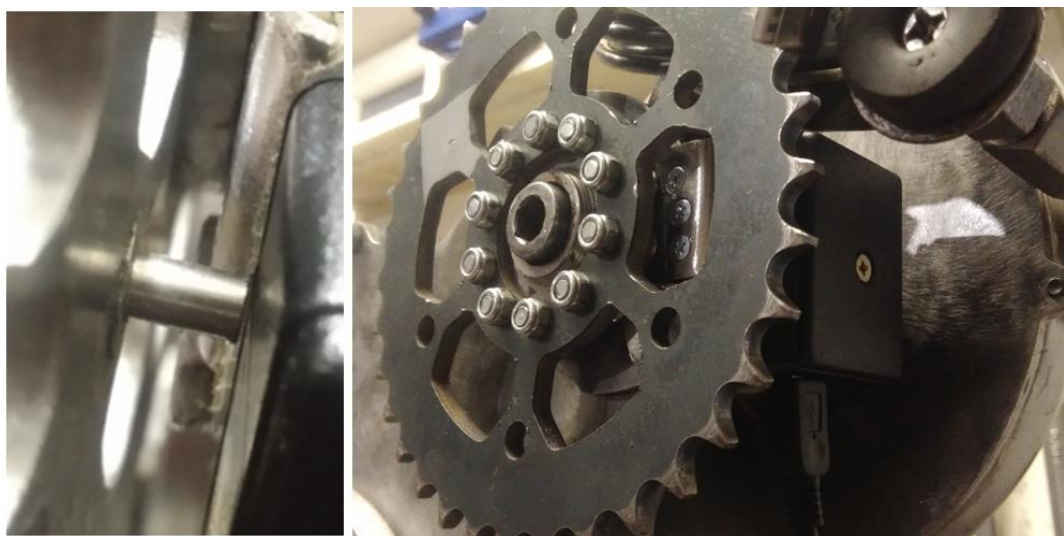
Upevnění součástek je vytvořeno měkkou cínovou pájkou Sn60Pb40. Důležité u pájení je to, aby nedošlo k přehřátí součástek, proto musí být množství pájky minimální. Takto vytvořený snímač je zapotřebí upevnit do krabičky, na které bude ze snímače vidět pouze zásuvka pro microUSB. Ačkoli existuje možnost vytisknout krabičku na 3D tiskárně z plastu, je stále jednodušší a levnější krabičku koupit a posléze přizpůsobit. Běžně prodávané plastové konstrukční krabičky jsou obvykle z materiálu ABS, jenž se dá dobře obrábět. Nejmenší běžně koupitelná krabička, do které se celý senzor bez problémů vejde, je označena jako Z47 nebo také jako KP39. Jedná se o dvoudílnou krabičku s černého plastu ABS, kdy víčko s tělem má být spojeno smáčknutím.

Smáčknutí ale není příliš pevný způsob spojení, tudíž je zapotřebí spojit víko s tělem krabičky sešroubováním. Šrouby se zaříznou do plastového distančního sloupku, jenž se dá rovněž zakoupit, popř. vyrobit (žlutá na obr. 45). Senzor se do krabičky upevní vsazením USB zásuvky do vyfrézovaného otvoru. Do krabičky je rovněž třeba vyfrézovat zahloubení pro Hallovu sondu proto, aby bylo možné ji co nejvíce přiblížit rotujícímu magnetu. Úpravy krabičky jsou prováděny ručními nástroji podle předlohy. Senzor je proti vysunutí z otvoru pro zásuvku nutné pojistit tavným nebo epoxidovým lepidlem.



Obr. 45 - Arduino Nano osazené Hallovou sondou a odrušovacím kondenzátorem

Krabička se senzorem je pak přišroubována pomocí plechového držáku trojicí šroubů M3 k pouzdru horního uložení. Plechový držák je rovněž výpalkem, jenž se dále upraví ohybem a tvorbou kuželových zahloubení pro zápusťné šrouby. Tyčový magnet o průměru 4 mm je nalisován do vyráběného hliníkového pouzdra a následně do řetězového kola. Důležité je vysunout z řetězového kola správný pól magnetu, neboť unipolární Hallova sonda reaguje na magnetický tok pouze v jednom směru. Vzdálenost magnetu od sondy je třeba udržovat co nejkratší. Senzor je schopen zachytit konec magnetu vzdálený do 3 mm.



Obr. 46 - Magnet a snímač umístěny na dynamometru

3.8. Aplikace A26_DynoSoft [8]

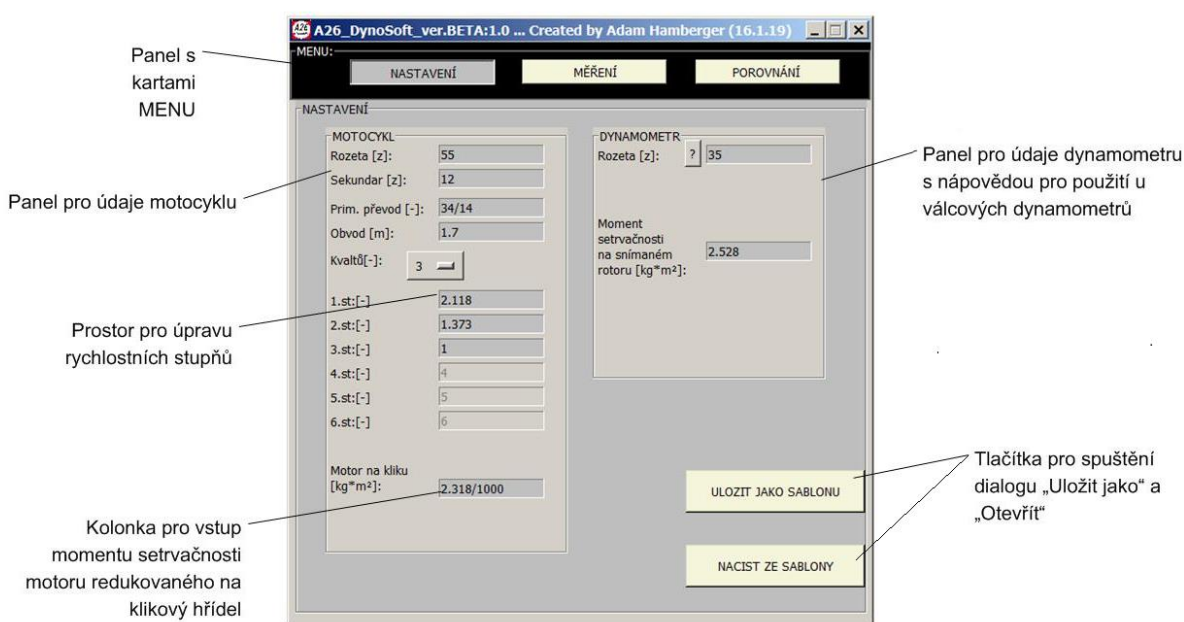
Pro tvorbu aplikace byl vybrán programovací jazyk Python, důvodem je hlavně to, že se jedná o open source platformu a je tudíž zdarma. Dalším důvodem je jednoduchost a intuitivnost způsobující velký rozmach tohoto jazyka. Zdrojový kód programu obsahuje přes 4 000 řádek, neboť se jedná o vcelku rozsáhlou aplikaci. Aplikace pak pro práci s daty používá soubory ve formátech:

- ".nas" pro údaje nastavení (převodové poměry motocyklu, setrvačné parametry, atp.),
- ".zaz" pro celkový záznam z měření,
- ".dob" pro výsledky doběhové zkoušky, jenž se vyberou ze záznamu,
- ".roz" pro výsledky rozběhové zkoušky, jenž se vyberou ze záznamu, pokud je nahrán soubor doběhu.

Aplikace je rozdělena na tři hlavní části, mezi nimiž se přepíná v menu. Jedná se o část nastavení, měření a porovnání. Tyto části budou blíže popsány v následujících podkapitolách

3.8.1. Nastavení v aplikaci A26_DynoSoft

V kartě nastavení se vyskytují kolonky, z nichž program následně přebírá hodnoty pro výpočet. Hodnoty je možné udávat i ve formátu zlomků a to i složených. Proto, aby nebylo nutné pokaždé vypisovat údaje pro konkrétní motocykl, disponuje program funkcemi spouštěnými tlačítky dole. Funkce umožňují data z kolonek uložit do souboru s příponou ".nas", jež je možné posléze kdykoli načíst a data do kolonek se vyplní sama.

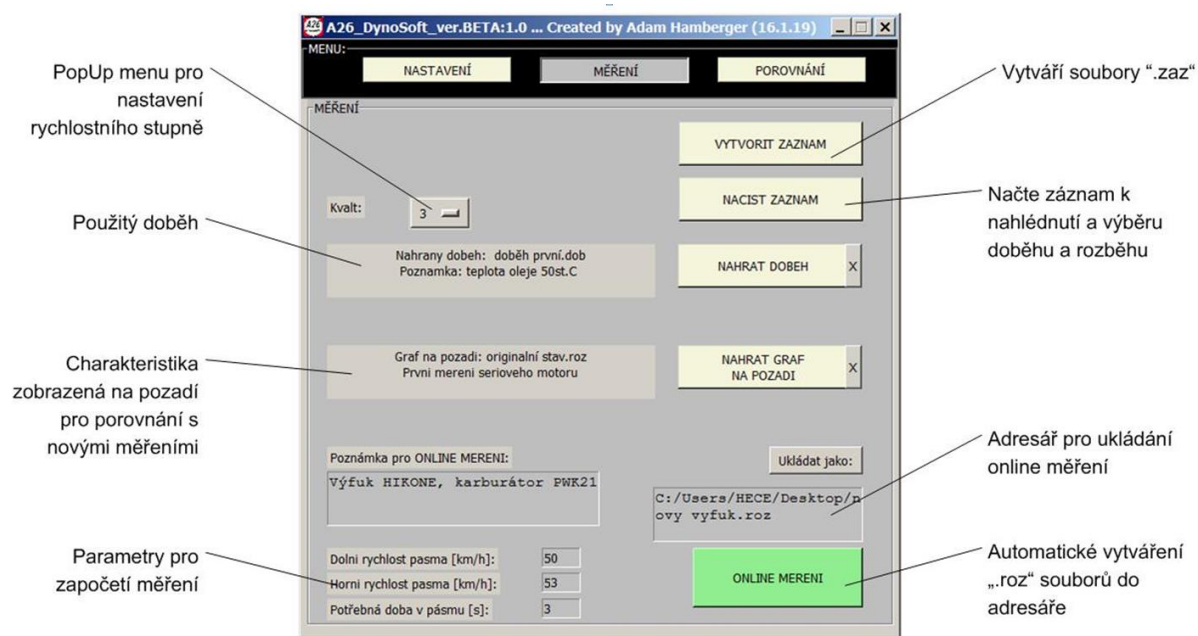


Obr. 47 - Karta NASTAVENÍ

Správnosti vepsaných údajů je třeba dbát zvýšenou pozornost, neboť přímo ovlivňují výsledky měření. Ačkoli panel pro údaje dynamometru disponuje kolonkami pouze pro počet zubů rozety (vnějšího řetězového kola) a moment setrvačnosti, je možné aplikaci používat i pro dynamometry válcové i přesto, že rozetu nemají. Aplikace totiž obsahuje nápovědu pro tzv. počet zubů virtuálního řetězového kola, jenž se vypočte z průměru pneumatiky, válce a počtu zubů rozety motocyklu.

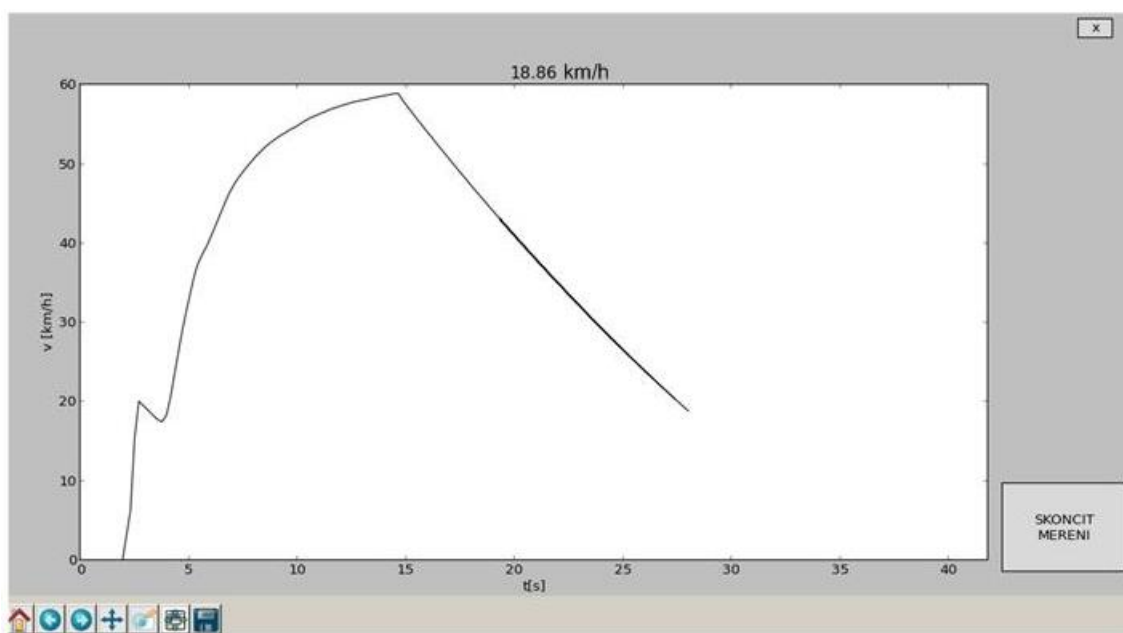
3.8.2. Měření v aplikaci A26_DynoSoft

Po přepnutí do karty měření program zkontroluje správnost dat v kolonce nastavení. V této kartě je možné vytvořit záznam, přičemž aplikace začne přijímat data z čidla a vykreslovat na monitor průběh rychlosti do grafu.



Obr. 48 - Karta MĚŘENÍ

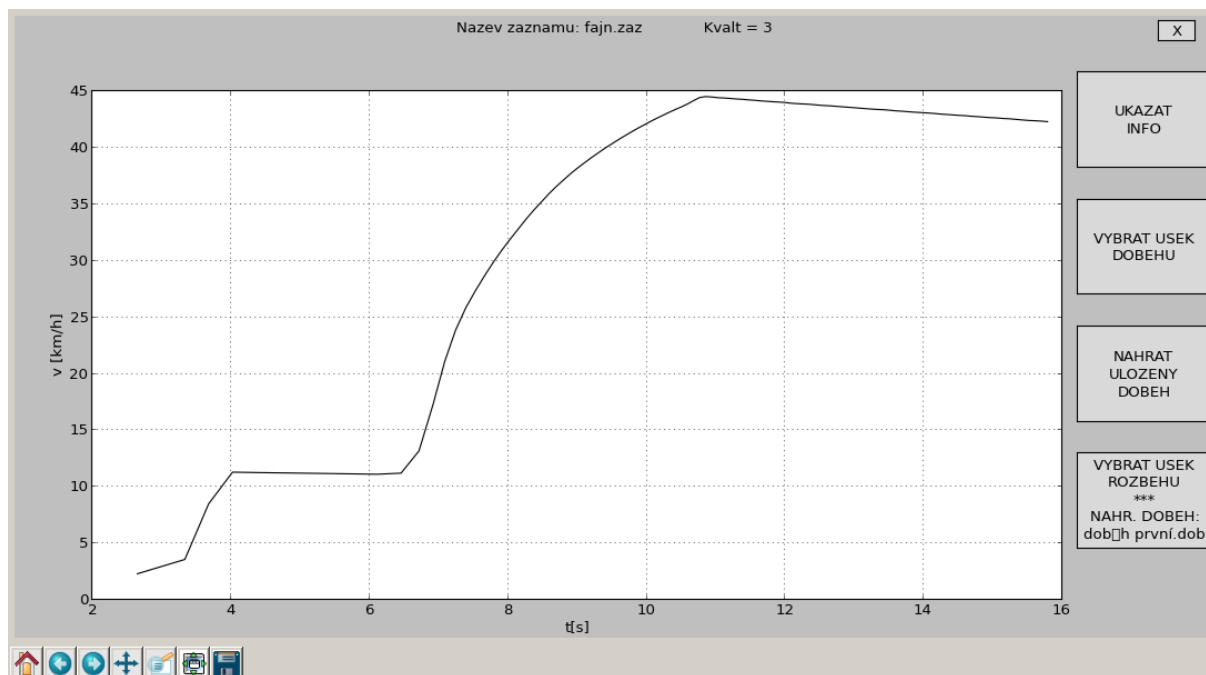
Tato funkce se spustí kliknutím na "Vytvořit záznam", přičemž výstup na obrazovce je na obr. 49. Po ukončení měření je možné k záznamu připojit poznámku a uložit celý průběh rychlosti jako záznam, tj. soubor s koncovkou ".zaz".



Obr. 49 - Vytváření záznamu

Takto uložený záznam je možné prohlížet a vybírat z něj úseky pro dobehové a rozběhové zkoušky.

Po načtení záznamu se otevře okno, jenž je na obr. 50. Hlavními funkcemi zde je vybrání doběhu a vybrání rozběhu. Vybrání rozběhu je možné až potom, co dojde k nahrání již uloženého doběhu proto, aby se mohly k údajům zjištěné rozběhovou zkouškou přičíst ztráty zjištěné zkouškou doběhovou. Pohled na graf je možné řídit pomocí tlačítek v levém dolním rohu mající funkce: vrácení se na původní pohled, předchozí a následující pohled (modré šipky), posun a přiblížení do vyznačeného obdélníku.



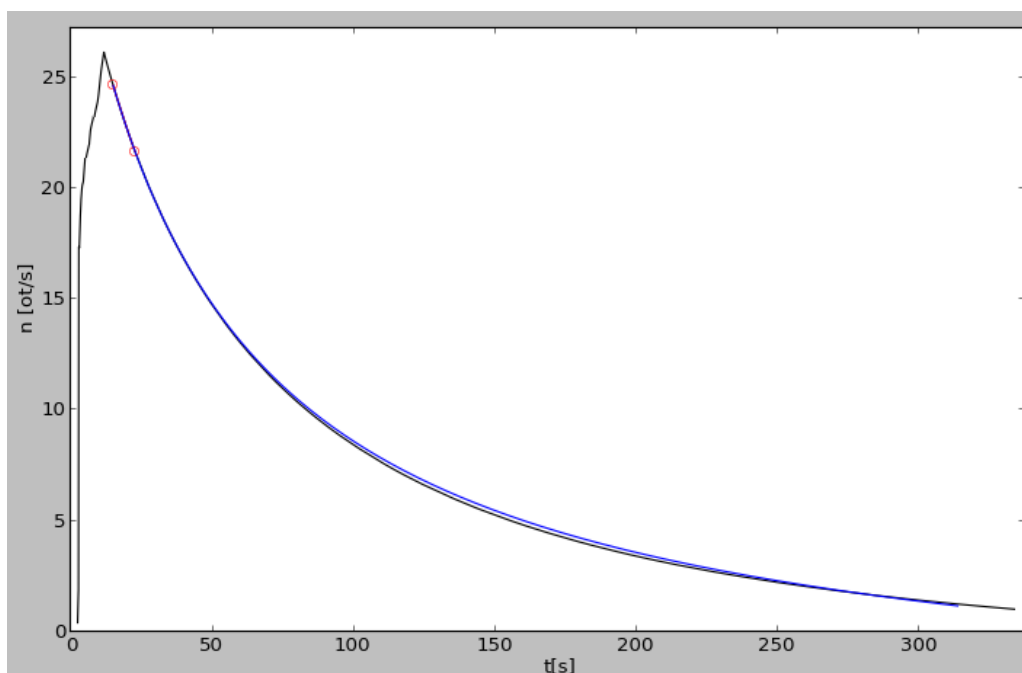
Obr. 50 - Načtený záznam a možnosti skýtající tlačítka vpravo

Spodním tlačítkem pro vybrání rozběhu se spouští funkce jazyka Python označovaná v syntaxi jako Span Selector. Tato funkce reaguje na kliknutí a táhnutí myši v oblasti grafu zvýrazněním vybraného úseku, po uvolnění myši se výběr ukončí a aplikace provede výpočet vycházející jak z dat o průběhu narůstající rychlosti, tak i z dat v nahraném souboru doběhu, jehož vytvoření bude popsáno později. Po ukončení výpočtu (zpravidla do jedné sekundy) se zobrazí nové okno zahrnující graf s průběhem ztrátového momentu, momentu pro akceleraci, celkového momentu a výkonu. Toto okno je možné zavřít, případně uložit data v něm do souboru s koncovkou ".roz" a připojit k němu poznámku. Podoba grafu z tohoto okna je znázorněna v teoretické části jako obr. 7 na str. 9.

V okamžiku, kdy není splněna některá z podmínek potřebných pro zobrazení výsledků rozběhové zkoušky, je uživatel upozorněn chybovou hláškou s pokynem. Těmito podmínkami se rozumí: dostatečně široká oblast, nahraný soubor doběhové zkoušky a neustále vzrůstající průběh rychlosti ve vybrané oblasti.

Stejným způsobem funguje i výběr úseku doběhové zkoušky, zde je rozdíl ve výpočetním modelu. V teoretické části práce byl totiž mj. vysvětlen problém týkající se provedení doběhové zkoušky, ten je způsoben dlouhou dobou zpomalování setrvačnicku, při které musí být vypnuta spojka nebo vyřazen rychlostní stupeň (pokud jej vyřadit lze). Řešením tohoto problému je právě výpočetní model, jenž umožní na základě krátkého úseku zpomalování dopočítat celý průběh zpomalení a tím pádem koeficienty do rovnice odporu pro celý průběh rychlosti. Rovnice odporu zahrnuje celkem tři konstanty (viz rce 3 na str. 5), které lze teoreticky určit parabolickou regresí.

Záležitost ale není tak jednoduchá, situaci totiž komplikují malé odchylky v měřených časových rozestupech, které se po dvojité derivaci projeví v průběhu točivého momentu jako rozkmitaná křivka. I tak miniaturní časové odchylky v řádu mikrosekund způsobené zejména rozlišením snímaného času mikrokontrolerem ($4 \mu\text{s}$) zapříčiní rozkmit křivky točivého momentu v pásmu cca $\pm 5\%$. Pásmo s takovýmto rozkmitem je sice možné proložit parabolou, ale její průběh bude relevantní pouze pro regresované pásmo, nikoli však pro celý rozsah rychlostí. Zjištění konstant parabol, jež reprezentuje rovnici odporů, je zapotřebí provést již z první derivace, tj. regresí průběhu rychlosti. Na tomto průběhu totiž nejsou na první pohled patrné žádné rozkmity a je tedy velice účelné jej podrobit regresi. Průběh rychlosti se tedy prokládá funkcí, k níž se dospěje integrováním rovnice odporové.



Obr. 51 - Regresovaný průběh rychlosti doběhové zkoušky

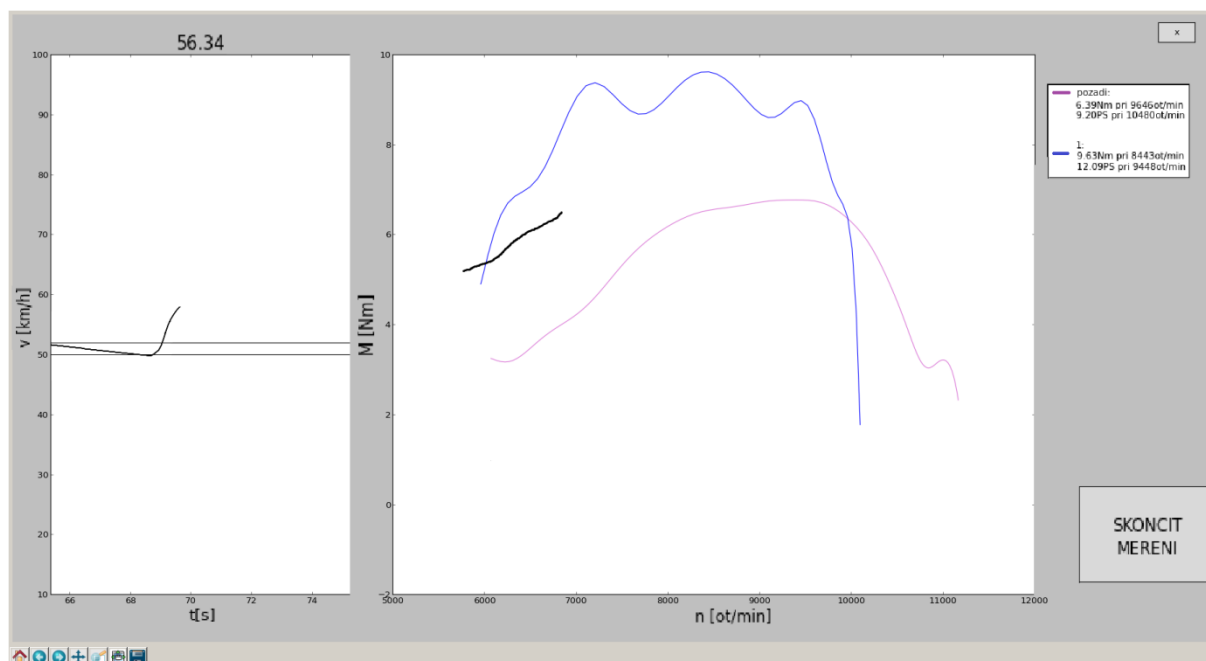
Na obr. 51 je znázorněn průběh celé doběhové zkoušky (černá), kdy byla pro regresi použita pouze část mezi dvěma červenými značkami, zbylá část zde slouží pouze pro porovnání vůči křivce modré, která vznikla regresním výpočtem, jehož výstupem jsou hodnoty tří již zmíněných konstant. Z obrázku je patrné, že tento postup je schopen např. z dvacetisekundového úseku mezi značkami dopočítat, resp. predikovat ztráty na pět minut dopředu, čímž se ušetří nejen velké množství času, ale zároveň i vypínací mechanismus spojky motocyklu.

Tyto údaje je pak možné uložit do souboru s koncovkou ".dob" a připojit k nim poznámku. Tento soubor je nutné nahrát vždy před vybráním úseku zkoušky rozběhové ať už v menu anebo přímo v okně se záznamem.

Nejvíce automatizovaná funkce měření se spouští zeleným tlačítkem s nápisem "online měření". Tato funkce rovnou vykresluje výkonové charakteristiky již v průběhu akcelerace a je možno pozorovat změnu vůči etalonu, jenž se dá nahrát na pozadí grafu. V menu je zapotřebí nahrát soubor doběhu, vybrat rychlostní stupeň a zadat adresář, kam se budou soubory rozběhů ukládat včetně poznámky.

Klíčové je však zadání podmínek, po jejichž splnění začne program charakteristiky vykreslovat. Běžně užívané softwary, pokud umožňují okamžité vykreslování charakteristik, reagují na stisknutí tlačítka ať už softwarového či hardwarového. Ovládání tohoto tlačítka je obtěžující činnost, se kterou souvisí ztráta kontroly nad ovládacími prvky motocyklu, proto je zde započítání rozběhové zkoušky řešeno určitou podmínkou. Tato podmínka se nastavuje třemi čísly v menu. V okamžiku, kdy je podmínka splněna, objeví se na obrazovce velký nápis s pokynem pro přidání plynu, po kterém se začnou charakteristiky vykreslovat až do okamžiku maxima rychlosti.

Tato tři čísla reprezentují dolní a horní rychlost pásma a potřebný počet sekund pro setrvání v tomto rychlostním pásmu. Obsluha na základě znalosti z předchozího měření vyplní hodnoty rychlostí a dobu potřebnou pro setrvání v pásmu dle vlastního uvážení. Pásmo rychlosti je v grafu znázorněno dvěma horizontálami, mezi něž se obsluha dostane regulací plynu při pohledu na vykreslovaný průběh rychlosti, poté následuje pokyn, který na obrazovce zůstane, dokud nedojde k akceleraci. Po ukončení akcelerace se křivka zbarví podle toho, o kolikátou akcelerační zkoušku se v online měření jedná a program uloží data pod jménem vyplněným v menu, k němuž se připojí číslice 1 až 5 podle pořadí měření. Online měření umožňuje provést z důvodu ponechání přehlednosti grafu pět po sobě jdoucích rozběhů, které se vykreslují ve sledu barev: modrá, žlutá, červená, zelená a hnědá. Etalon, jenž se nahrává v menu, je v grafu po celou dobu měření vykreslen fialovou barvou.

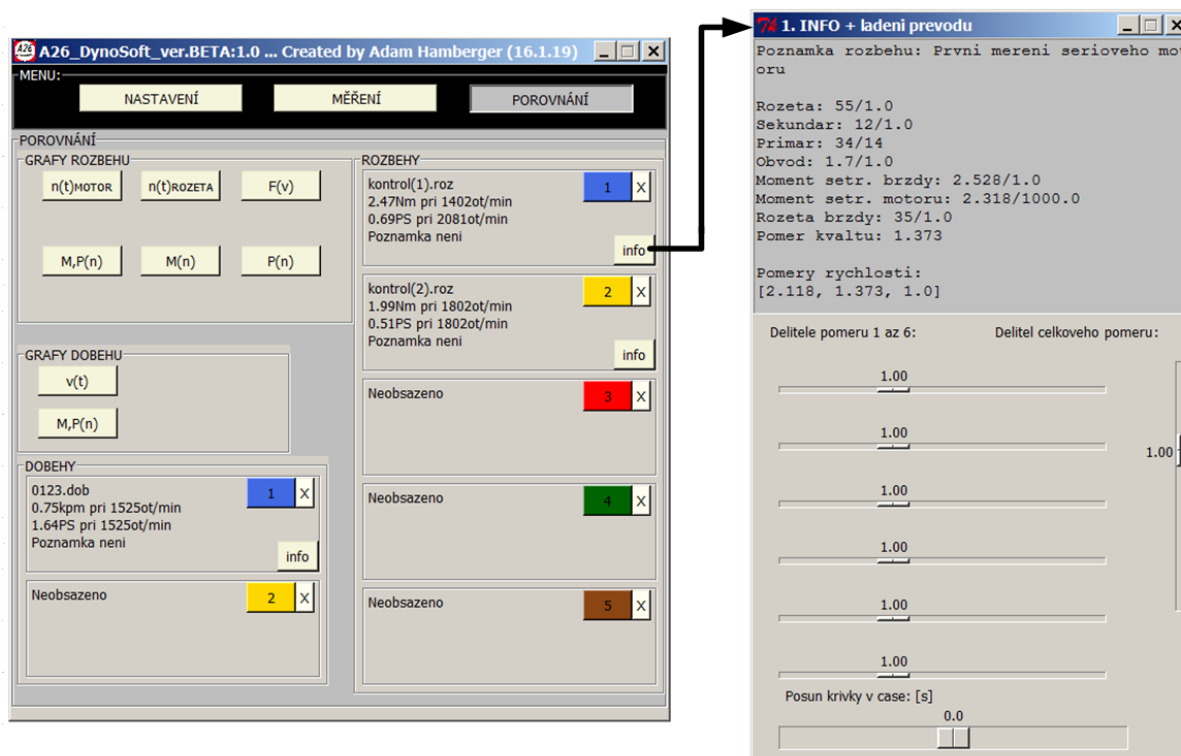


Obr. 52 - Okno online měření

Na obr. 52 je k vidění okno online měření s nahaným etalonem na pozadí (fialová), provedeným prvním měřením (modrá) a právě vykreslovaným průběhem točivého momentu budoucího druhého měření (černá), který po dosažení maxima zežloutne. Tím se měření tohoto průběhu ukončí. Graf rychlosti vlevo slouží pro informaci o průběhu rychlosti z předchozích pěti sekund vůči pásmu vymezenému dvěma horizontálami. V pravém horním rohu je legenda obsahující název, barvu a maxima charakteristik pro vykonaná měření. Měření se ukončí stisknutím tlačítka v pravém dolním rohu a celý průběh rychlosti je možné uložit jako záznam a pracovat s ním pak stejně jako s běžným záznamem.

3.8.3. Porovnání v aplikaci A26_DynoSoft

Poslední kartou v menu, je karta porovnání. V této části je možné porovnávat mezi sebou výsledky z pěti rozběhových zkoušek a ze dvou doběhových. S tím souvisí i rozdělení okna na dva páry panelů, kdy jeden pár slouží pro nahrávání souborů a druhý pár obsahuje tlačítka spouštějící zobrazení výsledků vybraných charakteristik.



Obr. 53 - Karta POROVNÁNÍ

Barevnými tlačítky se nahrávají jednotlivá měření, kdy po nahrání se v daném podpanelu zobrazí základní popis a informační tlačítko. Po stisknutí tohoto tlačítka se pak zobrazí okno se všemi informacemi a osmi posuvníky. Šesticí vodorovných posuvníků se nastavují dělitele pro jednotlivé převodové poměry, tímto je možné naladit odstupňování převodovky a výsledky si pak prohlédnout v diagramu hnacích sil. Těmito posuvníky se dá nastavit v prakticky dosažitelných mezích odstupňování až šestistupňové převodovky i přesto, že v kartě nastavení byla zaškrtnuta varianta mající menší počet rychlostních stupňů. Nejlépe se tato funkce vysvětluje na příkladu. V případě, že má motocykl pouze 4 stupně, je možné zobrazit diagram hnacích sil tak, jako kdyby měl až 6 stupňů, protože posuvníky pro pátý a šestý stupeň dělí původní převodový poměr posledního stupně (zde čtvrtého). Tato funkce nachází uplatnění v případě, kdy je zapotřebí zjistit, zda-li by pro daný průběh točivého momentu nebylo výhodné provést optimalizaci převodovky.

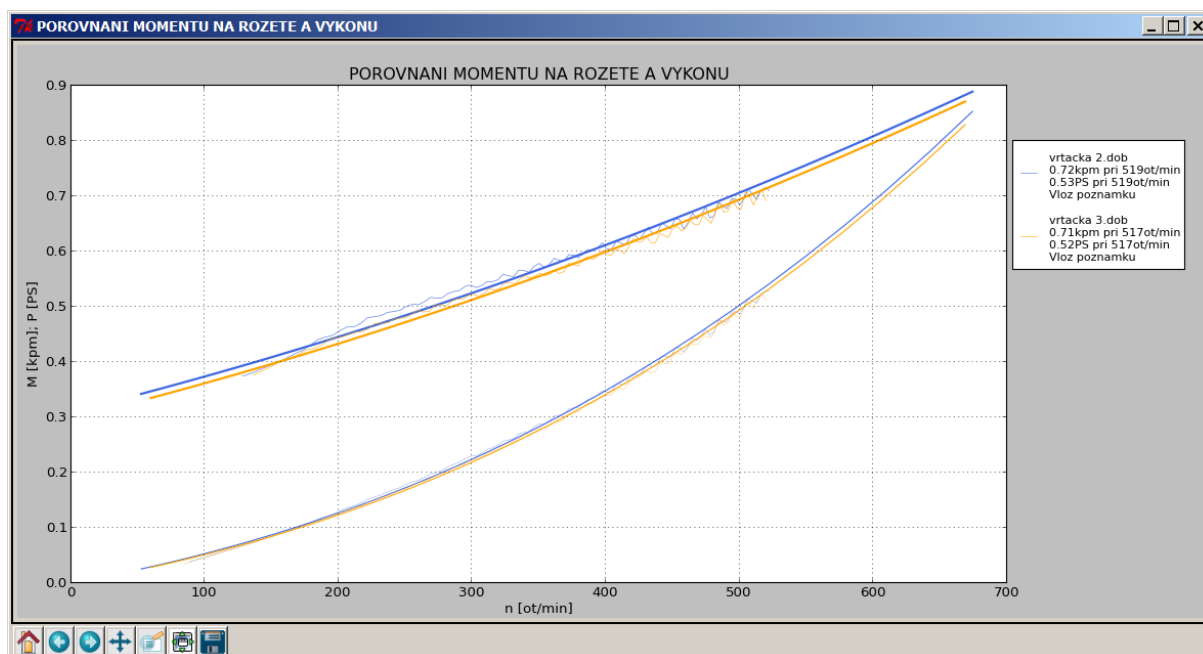
Svislý posuvník slouží k nastavení celkového převodového poměru. Tato funkce nachází uplatnění například v situaci, kdy je zapotřebí zjistit vhodnost změny stálého převodu pro dvě různá seřazení dosahujících odlišných rychlostí, popř. zjistit význam posunu pásma otáček vzhledem k hnacím silám. Spodní vodorovný posuvník umožňuje srovnat do zákrytu porovnávané průběhy otáček v závislosti na čase. Toto srovnání je velmi potřebná funkce, protože každá rozběhová zkouška má na svém počátku (tj. v čase nula) vždy odlišné otáčky, tento rozdíl se pak nechá vykompenzovat právě tímto posuvníkem.

3.9. Praktické ověření

Při prvním praktickém ověření byly zjištěny odlišnosti ve výsledcích dobohových zkoušek více po sobě jdoucích měření. Odlišnost spočívá v postupných poklesech brzdných momentů. Krom řídnoucího oleje v převodovce motocyklu byl zjištěn i vliv ze strany měřicího zařízení. Na vině je především řídnoucí plastické mazivo v ložiscích setrvačnicku, jenž se ochlazuje velmi obtížně, neboť se teplo šíří postupně do ostatních částí a zároveň kompaktní konstrukce má malou schopnost akumulace. Odvod tepla z ložisek a jejich okolí včetně stabilizace teploty značně zlepšilo přidání zhruba 0,5 litru oleje do schránky dynamometru. Olej je totiž uvnitř rozstříkáván rotujícím setrvačnickem a sjednocuje tak teplotu částí celého zařízení, přičemž zároveň odvádí teplo do obalu a účinně chladí.

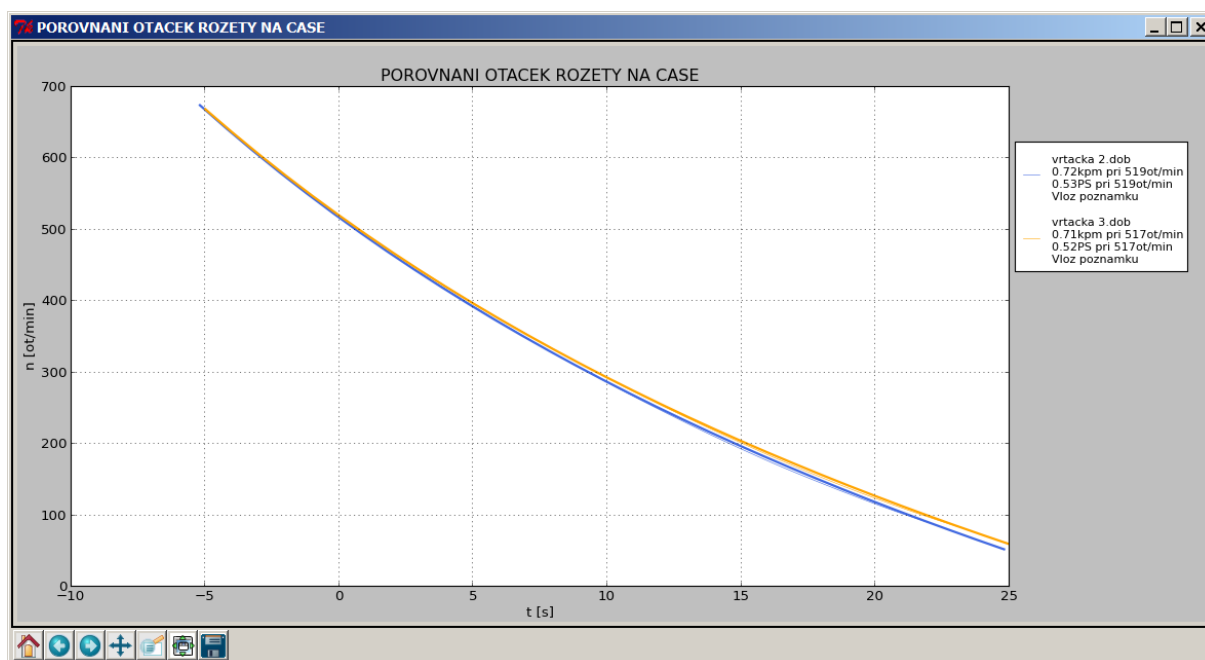
Změna viskozity oleje samotného se na kolísání pasivních ztrát podílí méně a pomaleji, než řidnutí plastického maziva v ložiskách. V tomto mj. tato uzavřená koncepce vyniká oproti běžným válcovým dynamometrům s klasickými ložiskovými domky, u kterých je akumulace i odvod tepla do okolí horší.

Obr. 54 zachycuje rozdíl dvou po sobě jdoucích dobohových zkoušek provedených bez připojeného motocyklu proto, aby se vyloučil jeho vliv. Roztočení bylo provedeno přes startovací mechanismus. Na obrázcích 54 a 55 jsou modré křivky (první doběh) a žluté (druhý doběh), popisující stav bez oleje, tj. pouze s plastickým mazivem. Třetí a další měření vykazuje stejné výsledky, jako měření druhé, protože vrtačka s výkonem 600 W, nemá dostatečný výkon na to, aby teplota ložisek dále vzrůstala. Z tohoto důvodu jsou zde uvedeny pouze dvě měření, ačkoli při roztáčení motocyklem, kdy jsou ložiska více zatížena, klesají odpory dále, v závislosti na zatížení dynamometru. Z tohoto důvodu byla přidána již zmiňovaná olejová náplň, která umožňuje udržovat zařízení v úzkém intervalu teplot, a tak přispívá ke stálým výsledkům po zahřátí na provozní teplotu.



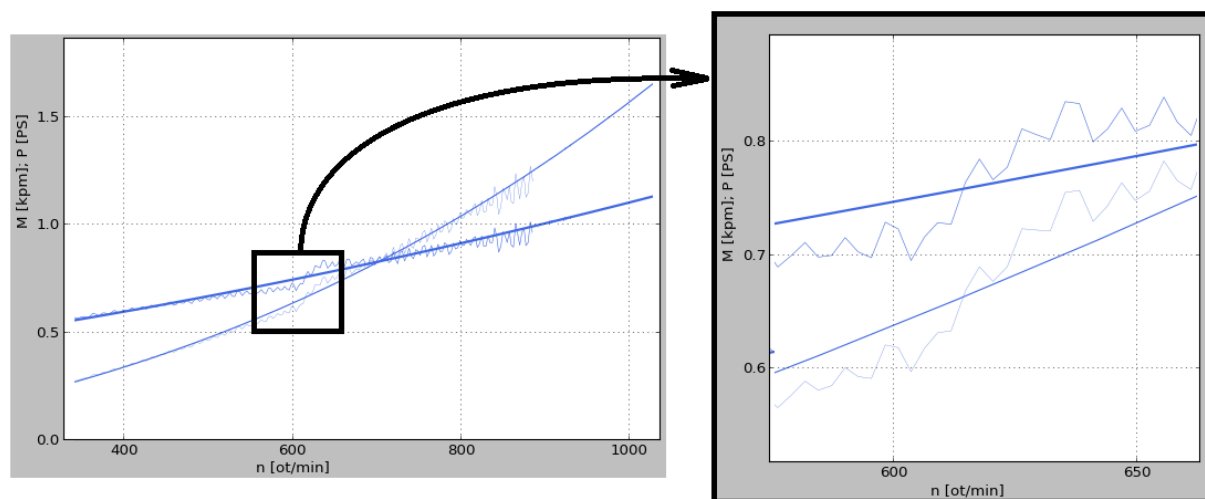
Obr. 54 - Točivý moment a výkon pasivních ztrát bez motocyklu a olejové náplně

Ačkoli se tyto rozdíly jeví jako nepatrné, je zapotřebí v rámci snahy o dosažení co největší důvěryhodnosti zmapovat co nejvíce faktorů a jejich nežádoucí vliv co nejvíce potlačit.



Obr. 55 - Časová závislost otáček horní hřídele bez motocyklu a olejové náplně

Výsledkem tohoto praktického ověření pak je nejen poznatek o teplotních poměrech, ale také např. poznatek o vlivu napětí řetězu, jenž se na výsledku měření rovněž podílí. Na obr. 56 je průběh točivého momentu a výkonu ztrát s patrným náhlým poklesem. Tento pokles je způsobený povolením řetězu způsobeným zvednutím obsluhy ze sedla motocyklu při nestaženém zadním odpružení popruhem. Při odlehčení zadní části motocyklu totiž dojde k natočení kyvné vidlice a tím i zkrácení osové vzdálenosti řetězových kol sekundárního převodu. Hladké křivky jsou regresované průběhy obou charakteristik, které vznikly regresí celého naměřeného průběhu (rozkmitané křivky).

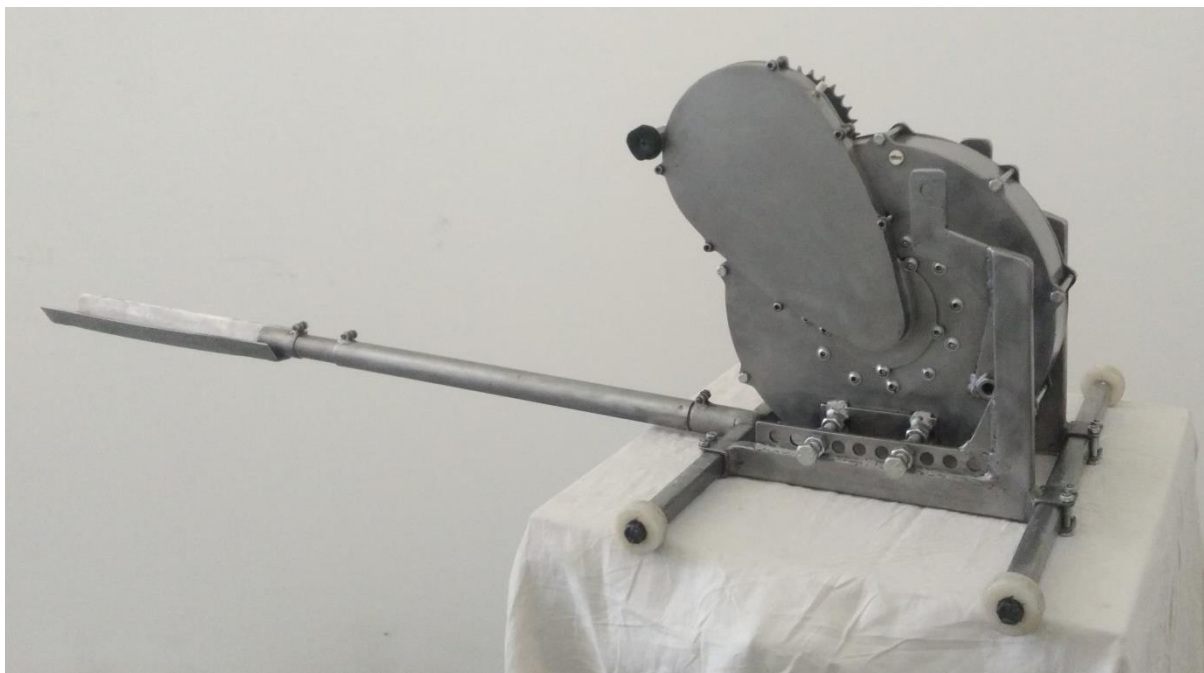


Obr. 56 - Náhlý pokles na točivém momentu a výkonu pasivních ztrát při povolení řetězu odpružením

Závěrem z tohoto ověření je to, že toto zařízení dokáže rozeznat nuance velmi malého rázu. Zároveň také to, že je nutné udržovat teplotu měřících zařízení v co nejužším rozsahu a také co nejméně ovlivňovat zátěž zadní části motocyklu, což platí u válcových dynamometrů dvojnásob, neboť se rozdíl projevuje i na valivém odporu pneumatiky.

4 Zhodnocení dosažených výsledků

V předchozích kapitolách byly popsány jednotlivé kroky od návrhu přes výrobu až po praktické ověření demonstrující citlivost zařízení na drobné změny. Cílem této kapitoly je shrnout záměr celé práce a vytvořit přehled o hotovém produktu a také popsat potřebné činnosti k jeho zprovoznění.



Obr. 57 - Hotové měřící zařízení

4.1. Činnosti pro zprovoznění zařízení

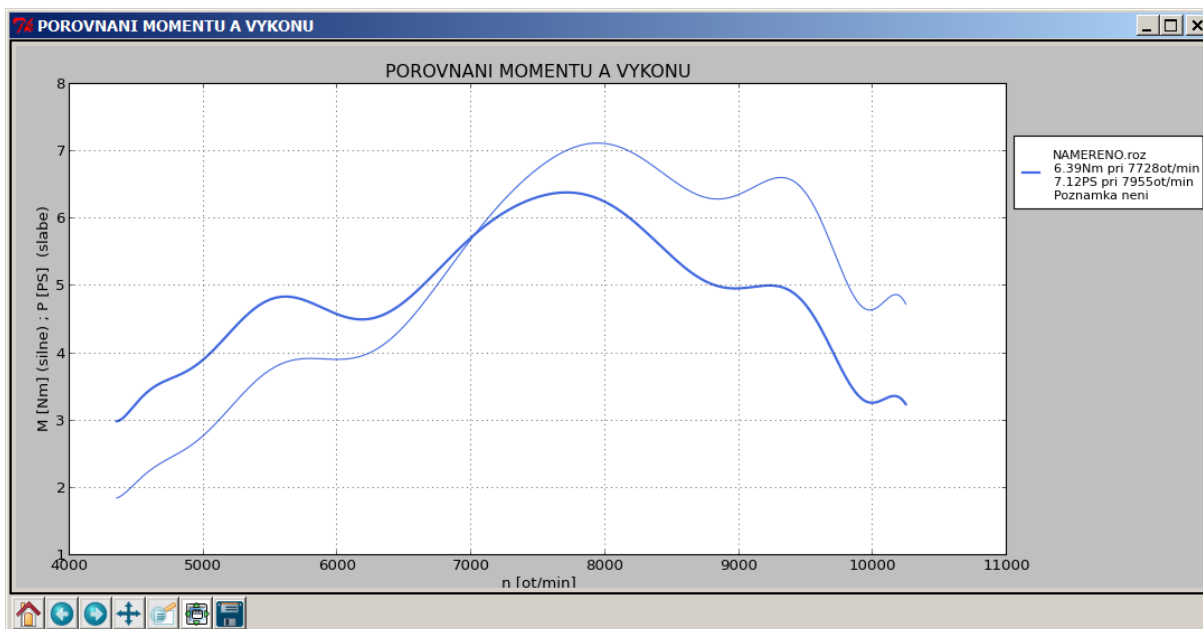
Zprovoznění snímací části je velmi jednoduché. Po připojení senzoru přes microUSB kabel do PC je zapotřebí nainstalovat ovladač CH34x. Tento ovladač je běžně dostupný ke stažení jako freeware na internetu. Připojené zařízení je zapotřebí nastavit ve Windows (Správce zařízení) na port COM26. Program A26_DynoSoft se instaluje běžným instalačním průvodcem s pokyny kamkoli na pevný disk.

Zprovoznění zařízení jako takového spočívá v nastavení stojanu, které se provede podle změřených hodnot na konkrétním motocyklu (šíře kyvné vidlice a odstup řetězového kola od ní). Podélné nastavení se provede dle dostupného řetězu. Po demontáži zadního kola motocyklu popř. jiných komponent, které měření brání, se do kyvné vidlice vsune zařízení bez podélného teleskopu. Po napnutí řetězu a dotažení šroubů do kyvné vidlice je čas na umístění teleskopu, jenž se ve zkrácené podobě vsune do stojanu a následně se vpraví pod přední kolo. Dále se popruhem stáhne přes sedlo motocykl k dynamometru a jako poslední se utáhne příčná aretace, čímž je komplet připraven k měření.

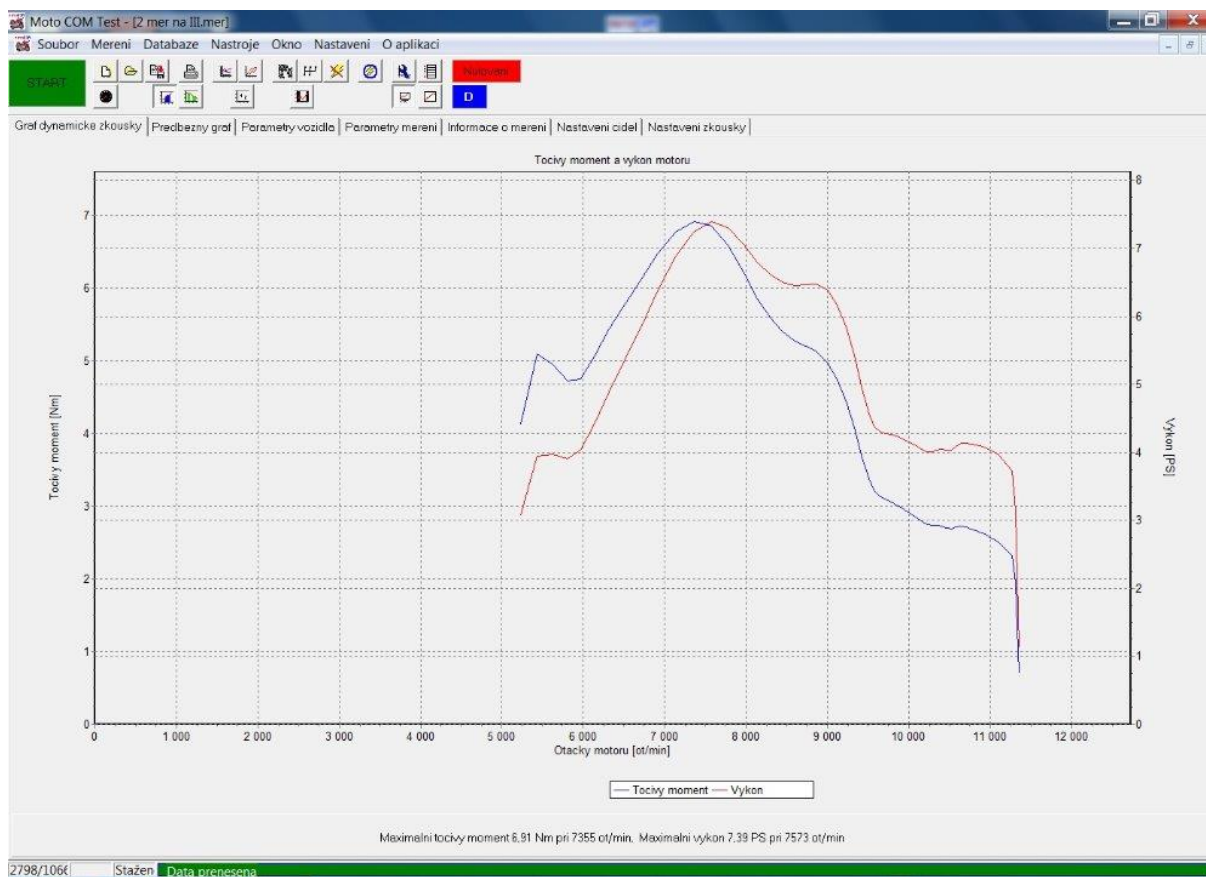
Dle typu motocyklu a zručnosti pracovníka se čas tohoto zprovoznění pohybuje cca od 10ti do 20ti minut.

4.2. Porovnání naměřených výsledků s jiným zařízením

Pro posouzení platnosti výsledků měřených vyráběným zařízením byl navržen experiment, jehož výstupem je porovnání výsledků měření s výsledky naměřenými válcovým dynamometrem od firmy Motocomtest.



Obr. 58 - Naměřené výsledky vyráběným zařízením



Obr. 59 - Naměřené výsledky válcovým dynamometrem firmy Motocomtest

Jako měřený motocykl byl vybrán upravený stroj Jawa 50, jehož výkon odpovídá přibližně polovině maximálního měřitelného výkonu výrobním zařízením. Hlavními důvody pro zvolení právě tohoto stroje byly krom dostupnosti hlavně úplná znalost všech setrvačných hmot a relativně velký rozsah provozních otáček oproti běžným závodním speciálům.

Po nastavení všech potřebných parametrů do aplikace A26_DynoSoft, upevnění motocyklu a ohřevu na provozní teplotu, byly provedeny tři rozběhové zkoušky, mající za účel ověřit stálost výkonových charakteristik. Na obr. 58 jsou výsledky naměřené vyráběným zařízením a zobrazené v aplikaci A26_DynoSoft.

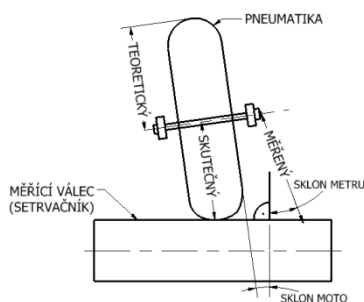
Měření na válcovém dynamometru provedla nezávislá obsluha motoservisu, přičemž nejprve nevyžadovala žádné hodnoty převodových ani setrvačných hodnot. Dynamometr od firmy Motocomtest totiž disponuje zařízením umožňujícím měření otáček motoru na základě pulzů z vysokonapěťového kabelu k zapalovací svíče. Na základě informací z těchto pulzů a rotace setrvačnicku si zařízení samo převodový poměr vypočte. Tato funkce ale nepodávala přesné informace o převodovém poměru, jenž byl vypočten, a udávala tak zcela nereálné výsledky. Převodový poměr bylo tedy nutné zadat do programu manuálně a zároveň změřit poloměr zadní pneumatiky. Po tomto kroku bylo měření opakováno a jeho výsledky jsou na obr. 59. Na první pohled jsou v grafickém výstupu patrné 4 rozdíly, kdy 2 z nich neovlivňují kvalitu měření. Tyto rozdíly zahrnuje tab. 5.

Projev rozdílu	vyráběné zařízení	Motocomtest	důvod rozdílu
Jiné místo křížení křivek	7022 ot/min	7500 ot/min	Dvě stupnice s jinou škálou pro každou veličinu zvláště u výsledků Motocomtest
Jiný interval otáček	4400 až 10300 ot/min	5200 až 11300 ot/min	Pozdější přidání i úběr plynu obsluhou válcového dynamometru
Posun maximálních hodnot momentu a výkonu	6,39 Nm ; 7,12 PS	6,91 Nm ; 7,39 PS	Setrvačné parametry v SW Motocom nastaveny pro hmotnější motocykl
Posun otáček maxim momentu a výkonu	M: 7728 ot/min P: 7955 ot/min	M: 7355 ot/min P: 7573 ot/min	Odchylnka v měření poloměru zadní pneumatiky

Tab. 5 - Rozdíly v grafickém výstupu měření

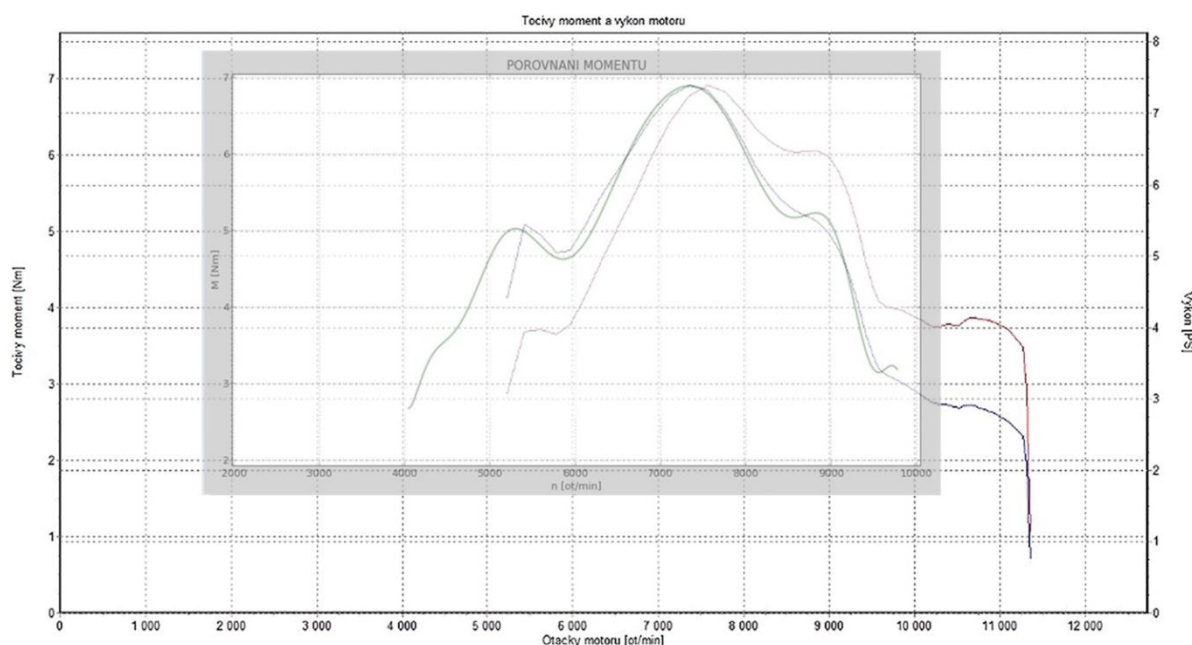
První dva rozdíly (zelená v tab. 5) nemají na kvalitu měření žádný vliv, první je dán pouze grafickým zobrazením a druhý je ovlivněn dobou, do kdy obsluha drží plný plyn. Testovaný motor totiž nedisponuje omezovačem otáček a oblast nad 10000 ot/min je již vzhledem k malému točivému momentu v praxi nepoužitelná. Zároveň je již v takto vysokých otáčkách ohrožena životnost motoru, a tudíž zde není zapotřebí měření provádět tak dlouho. Další dva rozdíly (červená v tab. 5) jsou ovlivněny odchylkou vstupních parametrů zadávaných do programu Motocomtest. Vzhledem k absenci dotazu obsluhy zařízení válcového dynamometru ohledně setrvačných hmot měřeného motocyklu zůstaly pravděpodobně v programu zadány hodnoty příslušící hmotnějšímu motocyklu, což má za následek odchylku naměřených hodnot do plusu. Konkrétně u výkonu se jedná o odchylku +3,8 %.

Posun otáček maximálního výkonu a točivého momentu o -5 % oproti měření na vyráběném zařízení je pravděpodobně způsoben odchylkou měření poloměru zadní pneumatiky. To provedla obsluha svinovacím metrem jako měření vzdálenosti mezi středem matice zadního kola a povrchu setrvačnicku (měřicího válce). Odchylna je pak tvořena mimo jiné i náklonem motocyklu a svinovacího metru. Zmíněný posun otáček odpovídá odchylce měřeného poloměru o +5 %, čemuž dojde např. při sklonu motocyklu o 3° a sklonu metru o 15° .



Obr. 60 - Teoretický, skutečný a měřený poloměr kola

Aby bylo možné porovnat alespoň průběhy křivek jako takové, došlo posléze k cílenému zkreslení vstupních hodnot vepsaných do programu A26_DynoSoft tak, aby byla totožná maxima charakteristik s maximy zjištěnými v aplikaci Motocomtest. Tohoto zkreslení bylo dosaženo zmenšením převodového poměru o 5 % a zvětšením momentu setrvačnosti o 3 %. Jelikož aplikace Motocomtest neumožňuje nahrát data z aplikace A26_DynoSoft a naopak, byla grafickému výstupu z aplikace A26_DynoSoft přiřazena poloviční průhlednost tak, aby byly vidět oba výstupy najednou, viz. obr. 61. Jelikož mezi výkonem a točivým momentem existuje přímá matematická vazba a graf v pozadí (Motocomtest) nemá jednotnou stupnici, je na tomto grafu porovnáván jen točivý moment.



Obr. 61 - Porovnání průběhů točivého momentu po korekci vstupních hodnot

Zelený průběh točivého momentu změřený vyráběným dynamometrem pak v průniku intervalů otáček vůči modrému průběhu z válcového dynamometru nevykazuje větší odchylku než 5 %. Výjimkou je pouze počáteční zlom modré křivky, což je pouze projev reakce na plyn. Zmíněných 5 % už pak mohou způsobit i vlivy teplot jednotlivých částí motoru, apod.

4.3. Ekonomický rozbor

Níže provedený rozbor slouží pouze pro vyčíslení přibližných vlastních nákladů na výrobu jednoho kusu, tj. neobsahuje správní a odbytovou režii. Rovněž je nutné podotknout, že zde nejsou zahrnuty náklady na vývoj zařízení ani měřicí aplikace.

Nejznámějším českým výrobcem dynamometrů je firma Motocomtest, která si ke dni 18.3.2019 účtuje za nejlevnější válcový dynamometr 164 000 Kč bez DPH. Zde provedená kalkulace je složena z nákladů na materiál a práci včetně DPH.

4.3.1. Náklady na materiál

Do materiálu se zde započítávají všechny nakupované položky, viz. tab. 6.

Tělo dynamometru		Rám		Elektro		Ostatní nakupované	
Název	cena s DPH	Název	cena s DPH	Název	cena s DPH	Název	cena s DPH
Příruby s krkem přivařovací DN65	300	Jekl 30x15x2 - 1000	47	Arduino Nano	160	Setrvačnick	500
KR 45 - 200	85	Jekl 20x20x2 - 1000	41	Krabička Z47	28	Laserové výpalky	3500
KR 32 - 150	38	Polyamid PA6 KR 40 - 150	46	Šroubky, distanční sloupek	10	Šrouby a matice	300
TR 32x5 - 150 bežešvá	25	TR 28x2 - 700	37	Hallovo senzor TLE4905L	33	Maziva	100
TR 51x5 - 80 bežešvá	24	TR 32x2 - 700 bežešvá	41	Keramický kondenzátor 100 nF	3		
Ložiska, gufera	580	PLO 30x3 -700	25				
Řetěz ČZ 219	650						
Celkem za sloupec:	1702	Celkem za sloupec:	237	Celkem za sloupec:	234	Celkem za sloupec:	4400
Náklady za nakupovaný materiál:				6 573 Kč			

Tab. 6 - Náklady na materiál pro výrobu jednoho dynamometru

Ceny v tabulce jsou pouze orientační a byly zjišťovány v průběhu výroby prvního kusu (rok 2018). Pro ocelové profily je zde uvažován materiál S355.

4.3.2. Náklady na práci

Zde uvedené náklady za práci, tj. všechny činnosti, které stojí mezi nakoupeným materiálem a hotovým produktem, byly zjištěny na základě hodinové sazby pro jednotlivé činnosti. Na základě konzultace s několika nezávislými živnostníky v oboru kovovýroby je zde uvedena sazba 550 Kč/hod, která připadá na soustružení a svařování s přípravou. Pro vrtání a ruční zámečnické práce, jako závitování, začištění a montáž je brána sazba 300 Kč/hod. Časy pro jednotlivé činnosti byly zjištěny při výrobě prvního kusu.

	Soustružení [h]	Svařování s přípravou [h]	Ruční zámeč. práce [h]	Hodiny součástí	Ceny součástí (bez materiálu) [Kč]
Dolní hřídel	4	0,5	1	5,5	2 775
Startovací mechanismus	1	0	0,5	1,5	700
Oba lož. domky spod. uložení	2	0	1	3	1 400
Horní uložení	5	1	1	7	3 600
Dvojice bočních desek	0	1	2	3	1 150
Obruč	0	1	1	2	850
Víko	0	1	1	2	850
Obě poloviny stojanu	0	3	2	5	2 250
Dvojice příčníků	2	2	1	5	2 500
Momentová reakce	0	2	1	3	1 400
Příčná aretace	0	1	1	2	850
Senzor + kompletace	0	0	3	3	900
Hodiny prací	14	12,5	15,5		
Celkem hodin	42 hod				
Ceny prací	7 700	6 875	4 650		
Celkem náklady za práci	19 225 Kč				

Tab. 7 - Náklady na práci pro výrobu jednoho dynamometru

Časy v této tabulce jsou orientační, závisí na typu používaného zařízení, zručnosti pracovníka atd. Při sečtení nákladů za materiál (tab. 6) a nákladů za práci (tab. 7). vyjde součet představující vlastní náklady na výrobu jednoho kusu dynamometru rovnající se 25 798 Kč. Tato částka nezahrnuje povrchovou úpravu.

V průběhu práce byl zjištěn značný podíl doprovodných činností, které by se při výrobě více kusů nemusely opakovat, proto by bylo značnou úsporou vyrábět více kusů najednou. Pro stanovení prodejní ceny pro přesné porovnání s konkurenčními výrobky by bylo zapotřebí zahrnout správní a odbytovou režii včetně zisku. I přesto je ale možné predikovat, že cena tohoto zařízení by byla mnohonásobně nižší v porovnání s běžně dostupnými dynamometry.

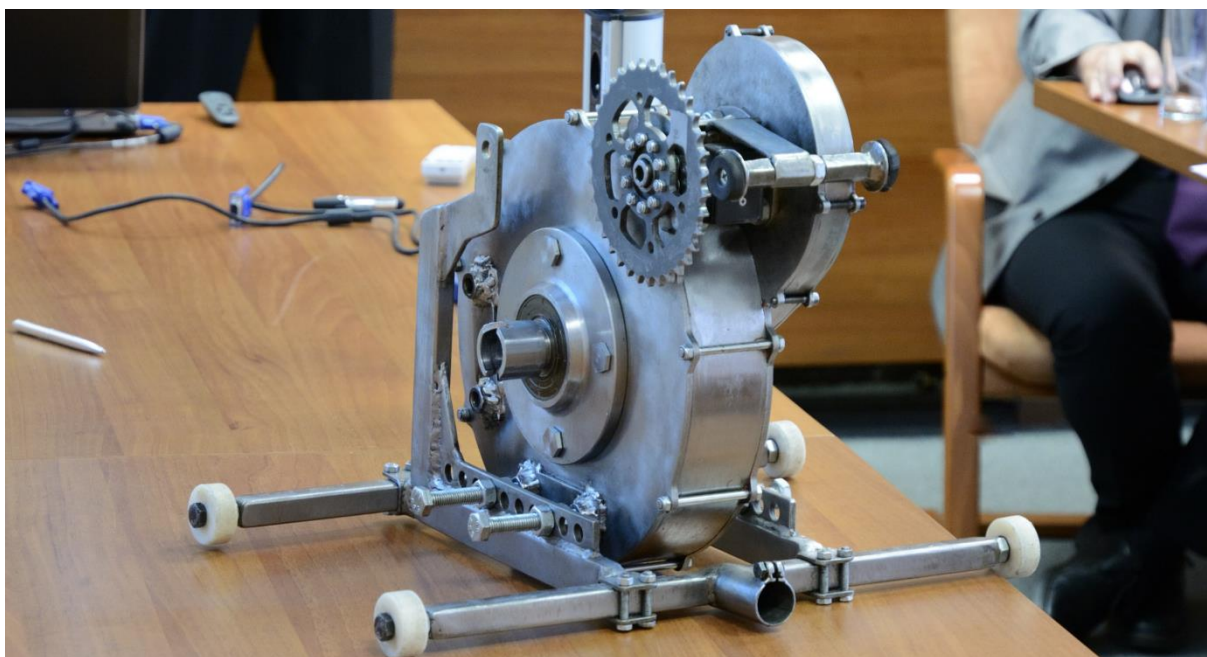
5 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a vyrobit přenosný motocyklový dynamometr a umožnit tak levné měření výkonových charakteristik. Po dlouhém a náročném vývoji, jenž vyžadoval znalosti z oblasti nejen konstrukčního navrhování a technologických postupů, ale zároveň i z oblasti elektroniky a programování, bylo docíleno kompletního a fungujícího zařízení. Tomu dopomohla zejména tvorba technologických postupů zahrnující obrábění a svařování, které je možné provést i v těch nejméně vybavených dílenských provozech, čímž je dosaženo minimální finanční náročnosti.

Toto zařízení se již úspěšně používá a přispívá tak ke spokojenosti závodnímu teamu, který tak má přístup k dříve finančně náročnému měření výkonových charakteristik. Vyrobené zařízení váží 35 kg a díky své možnosti variabilního nastavení stojanu tak umožňuje měřit téměř jakýkoli řetězem hnaný motocykl s výkonem do 11 kW. Dynamometr zároveň disponuje i startovacím mechanismem, jenž bývá mnohdy u běžných dynamometrů příplatkovou výbavou. Aplikaci A26_DynoSoft včetně senzoru je možné velice snadno zprovoznit na jakémkoli PC s OS Windows 7 a novějším. Ochrana softwaru je zprostředkována pomocí spárování s daným čidlem.

Porovnání naměřených výsledků tímto zařízením s výsledky z válcového dynamometru firmy Motocomtest ukázaly, že velký důraz je zapotřebí dbát na správnost vstupních hodnot, jejichž odchylky se přímo promítají do naměřených výsledků. Po přiblížení těchto vstupních hodnot byl potvrzen téměř stejný průběh výkonových charakteristik vygenerovaný oběma zařízeními. Tento fakt vypovídá o kvalitě výsledků měřených vyráběným zařízením. Při tomto porovnání se také ukázala značná časová úspora díky funkci okamžitého vykreslování výkonových charakteristik aplikací A26_DynoSoft, což mj. umožňuje mnohem rychlejší generování výsledků vědeckého bádání při vývoji závodních úprav sportovních motocyklů.

Výhledem do budoucna je určitě výroba dalších kusů, aby se měření výkonu motocyklů stalo finančně dostupnou činností pro více lidí.



Obr. 62 - Prezentované zařízení ve fakultním kole soutěže SVOČ [21]

Použité zdroje

- [1] VLK, F. *Diagnostika motorových vozidel*. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno: 2006, 444 s. ISBN 802397064X
- [2] STEJSKAL, M. *Zvýšení výkonových parametrů zážehového jednoválcového dvoudobého motoru*. Diplomová práce. VUTBR. Brno: 2012
- [3] HUSÁK, P. *Motocykly s dvoudobým motorem*, Praha: SNTL, 1978. 324 s.
- [4] JANYŠ, B, GLANC, F. *Dílenské tabulky*, Praha: SNTL, 1972
- [5] VLK, F. *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno: 2000.
- [6] BARTMANN, E. *Die elektronische Welt mit Arduino entdecken*. O'Reilly: 2014. ISBN 9783955611156
- [7] MERIAM, J.L. KRAIGE, L.G. *Engineering mechanics - Dynamics. 7th edition*. John Wiley & Sons, Inc., Virginia: 2013
- [8] HALTERMAN, Richard L *Fundamentals of Python programming*, Southern Adventist University: 2018.
- [9] VODA, Z. *Průvodce světem Arduina*, Nakladatelství Martin Stříž, Bučovice: 2017, ISBN: 978-80-87106-93-8
- [10] MALÝ, Martin, *Hradla volty jednočipy*, CZ.NIC, Praha: 2017, ISBN 978-80-88168-26-3
- [11] Prüfstand M CH I 1000 [online]. [cit. 2019-3-16]. Dostupné z: <http://www.twbnet.com.br/deutsch/dinamometro-m-ch-i-1000.php>
- [12] Engine dynamometer [online]. [cit. 2019-3-16]. Dostupné z: <https://thekneeslider.com/nembo-motociclette-inverted-3-cylinder-super-32-rovescio-motorcycle-engine/>
- [13] Belt-driven Prony brake dynamometer [online]. [cit. 2019-3-16]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/9025018/>
- [14] Rozdílnost v brzdných momentech [online]. [cit. 2019-3-16]. Dostupné z: <http://www.motocom.cz/mereni2.htm>
- [15] Kraftübertragung und Drehmomentwandlung bei einem Riemen- bzw. Kettengertriebe [online]. [cit. 2019-3-16]. Dostupné z: <https://www.grund-wissen.de/physik/mechanik/kraftwandler-und-getriebe/zahnraeder-und-getriebe.html>
- [16] Katalog řetězů ČZ [online]. [cit. 2019-3-16]. Dostupné z: https://www.czretezy.cz/docs/katalog_prumyslovych_retezu.pdf
- [17] Výpočet řetězových převodů [online]. [cit. 2019-3-16]. Dostupné z: https://www.czretezy.cz/docs/prum_vypocet_retezoveho_prevodu.pdf

- [18] Uni- and Bipolar Hall IC Switches for Magnetic Field Applications TLE4905L, TLE4935L, TLE4945L, TLE4945-2L [online]. [cit. 2019-3-16]. Dostupné z: http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/153775-da-01-en-HALL_SENSOR_TLE_4935L.pdf
- [19] Arduino Nano Pin Layout [online]. [cit. 2019-3-16]. Dostupné z: https://www.mouser.com/pdfdocs/Gravitech_Arduino_Nano3_0.pdf
- [20] Ceník Motocomtest [online]. [cit. 2019-3-18]. Dostupné z: <http://www.motocom.cz/cenik.htm>
- [21] Studentská vědecká a odborná činnost [online]. [cit. 2019-5-3]. Dostupné z: https://fst.zcu.cz/study/svoc-FST/fotogalerie_SVOC_FST_2019.html
- [22] TRACY,M. How to Tune and Modify Motorcycle Engine Management Systems. Wisconsin, United states: Motorbooks International, 2005,192 s. ISBN 9780760340738
- [23] STANĚK,J.-NĚMEJC,J. Metodika zpracování a úprava diplomových prací. Plzeň: ZČU, 2005, 58 s. ISBN 80-7043-363-9

Seznam příloh

Příloha č.1: Výpočet redukovaného momentu setrvačnosti pro celé měřicí zařízení

Příloha č.2: Odvození funkce pro regresi úhlové rychlosti při doběhové zkoušce

Příloha č.3: Ukázka kódu aplikace A26_DynoSoft v programovacím jazyce Python

PŘÍLOHA č. 1**Výpočet redukovaného momentu setrvačnosti pro celé měřící zařízení**

Hmoty rotující otáčkami setrvačnicku:	Moment setrvačnosti [kg·mm ²]	Vliv na celkovou setrvačnost [%]
Setrvačnick	146806,000	99,228
Hřídel setrvačnicku	364,090	0,246
Ostatní (šrouby, matice, startovací ozubec, vnitřní ložiskové kroužky)	560,404	0,379
Icelk1	147730,494	99,853

Hmoty rotující otáčkami horní hřídele:	Moment setrvačnosti [kg·mm ²]	Vliv na celkovou setrvačnost [%]
Vnější hřídel	952,671	0,040
Vnější řetězové kolo	1194,444	0,050
Ostatní (šrouby, matice, vnitřní hřídel, kužel, vnitřní ložiskové kroužky)	101,590	0,004
Icelk2	2248,705	0,095

Hmota řetězu, celek:	Moment setrvačnosti (k horní hřídeli) [kg·mm ²]	Vliv na celkovou setrvačnost [%]
Řetěz ČZ 219	1241,107	0,052
Celkový moment setrvačnosti Iredcelk [kg·mm²]	2367177,717	100,000

Hmotnost řetězu ČZ 219 m219 [kg]	0,225
Poloměr horního řet. kola pro ČZ219 r60z [mm]	74,27
Převodový poměr 60z/15z i219 [-]	4

$$I_{redcelk} = I_{celk2} + I_{celk1} \cdot i_{219}^2 + m_{219} \cdot r_{60z}^2$$

$$I_{redcelk} = 2248,705 + 147730,494 \cdot 4^2 + 0,225 \cdot 74,27^2$$

$$\underline{\underline{I_{redcelk} = 2,367 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

PŘÍLOHA č. 2

Odvození funkce pro regresi úhlové rychlosti při doběhové zkoušce

$$M(\omega) = a \cdot \omega^2 + b \cdot \omega + c$$

$$M = I \cdot \alpha \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{a}{I} \cdot \omega^2 + \frac{b}{I} \cdot \omega + \frac{c}{I}$$

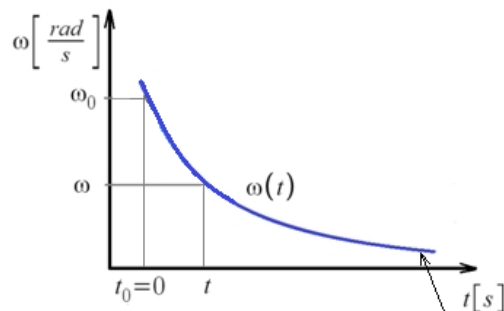
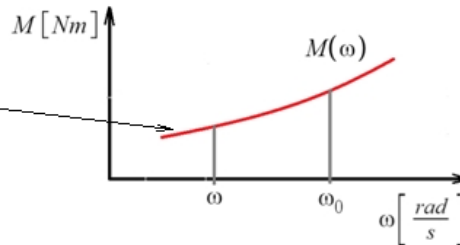
$$A = \frac{a}{I} ; B = \frac{b}{I} ; C = \frac{c}{I}$$

$$\int_0^t dt = \int_{\omega_0}^{\omega} \frac{1}{A \cdot \omega^2 + B \cdot \omega + C} d\omega$$

$$t = \frac{2}{\sqrt{4AC - B^2}} \cdot \left(\arctan\left(\frac{2A\omega + B}{\sqrt{4AC - B^2}}\right) - \arctan\left(\frac{2A\omega_0 + B}{\sqrt{4AC - B^2}}\right) \right)$$

$$\tan\left(\frac{t \cdot \sqrt{4AC - B^2}}{2} + \arctan\left(\frac{2A\omega_0 + B}{\sqrt{4AC - B^2}}\right)\right) = \frac{2A\omega + B}{\sqrt{4AC - B^2}}$$

$$\omega(t) = \frac{1}{2A} \left(\sqrt{4AC - B^2} \cdot \tan\left(\frac{t \cdot \sqrt{4AC - B^2}}{2} + \arctan\left(\frac{2A\omega_0 + B}{\sqrt{4AC - B^2}}\right)\right) - B \right)$$



kde:

a, b, c (po substituci A, B, C)

- regresi hledané konstanty odporu

I

- moment setrvačnosti dobíhající soustavy

PŘÍLOHA č. 3

Ukázka kódu aplikace A26_DynoSoft v programovacím jazyce Python

```
3104 def nahratr(kerej):
3105     print "nahravani do porovnani"
3106     panelporovnani.fileName = filedialog.askopenfilename(filetypes= ("Rozbeh", "*.roz"))
3107     print panelporovnani.fileName
3108     jmeno_souboru=os.path.basename(panelporovnani.fileName)
3109     openFile = open(panelporovnani.fileName, 'r')
3110     radky = openFile.readlines()
3111     openFile.close()
3112
3113     pozn=radky[0]
3114
3115     udajsetupu_pole = (radky[1].split('/hece<3'))
3116
3117     globals()["udaj_porovnani_pole_" + str(kerej)] = udajsetupu_pole
3118     (globals()["udaj_porovnani_pole_" + str(kerej)]).append(pozn)
3119
3120     poznamkasetupu = (udajsetupu_pole[0])
3121     rozeta=convert_to_float(udajsetupu_pole[1])
3122     sekundar=convert_to_float(udajsetupu_pole[2])
3123     primar=convert_to_float(udajsetupu_pole[3])
3124     obvod=convert_to_float(udajsetupu_pole[4])
3125     kvaltuch=int(udajsetupu_pole[5])
3126     st1=convert_to_float(udajsetupu_pole[6])
3127     st2=convert_to_float(udajsetupu_pole[7])
3128     st3=convert_to_float(udajsetupu_pole[8])
3129     st4=convert_to_float(udajsetupu_pole[9])
3130     st5=convert_to_float(udajsetupu_pole[10])
3131     st6=convert_to_float(udajsetupu_pole[11])
3132     mnb=(udajsetupu_pole[12])
3133     lm=(udajsetupu_pole[13])
3134     zrozetab = (udajsetupu_pole[14])
3135     pomer_kvaltu = (udajsetupu_pole[15])
3136
3137 def kvaltydopole():
3138     global kvalty_pole
3139     print kvaltuch
3140     if kvaltuch == 1:
3141         kvalty_pole = [st1]
3142     if kvaltuch == 2:
3143         kvalty_pole = [st1, st2]
3144     if kvaltuch == 3:
3145         kvalty_pole = [st1, st2, st3]
3146     if kvaltuch == 4:
3147         kvalty_pole = [st1, st2, st3, st4]
3148     if kvaltuch == 5:
3149         kvalty_pole = [st1, st2, st3, st4, st5]
3150     if kvaltuch == 6:
3151         kvalty_pole = [st1, st2, st3, st4, st5, st6]
3152     return kvalty_pole
3153
3154 print kvaltydopole()
3155
3156 zotocek = int(radky[2])
3157
3158 dta_pole = []
3159 t_pole = []
3160 v_pole = []
3161 regv_pole=[]
3162 a_pole = []
3163 rega_pole = []
```

```

3173     globals()["Fk" + str(i) + "_p"] = []
3174
3175
3176     zotocka = 0
3177
3178     while zotocka < (zotocek):
3179         radek_pole = (radky[zotocka + 3]).split(' *** ')
3180         dta_pole.append(float(radek_pole[0]))
3181         t_pole.append(float(radek_pole[1]) - float((radky[3]).split(' *** ')[1]))
3182         v_pole.append(float(radek_pole[2]))
3183         a_pole.append(float(radek_pole[3]))
3184         rega_pole.append(float(radek_pole[4]))
3185         regal_pole.append(float(radek_pole[5]))
3186         a_ztraty_pole.append(float(radek_pole[6]))
3187         a_celk_pole.append(float(radek_pole[7]))
3188         p_pole.append(float(radek_pole[8]))
3189         zotocka = zotocka + 1
3190
3191
3192     for i in dta_pole:
3193         vroz.append(1/i*60.0)
3194
3195     for i in range(1,7):
3196         if i > kvaltuch:
3197
3198             globals()["kvalt" + str(i)]=float(kvalty_pole[len(kvalty_pole)-1])
3199             print "kvalt" + str(i)
3200             print globals()["kvalt" + str(i)]
3201         else:
3202             globals()["kvalt" + str(i)] =vars()["st" + str(i)]
3203             print "kvalt" + str(i)
3204             print globals()["kvalt" + str(i)]
3205
3206     for j in v_pole:
3207         (globals()["vk" + str(i) + "_p"]).append((j)/(globals()
3208             ["kvalt" + str(i)]/primar*sekundar/rozeta*obvod*60.0/1000.0)
3209     for j in a_celk_pole:
3210         (globals()["Fk" + str(i) + "_p"]).append((j) * (globals()
3211             ["kvalt" + str(i)])*primar/sekundar*rozeta/(obvod/6.28))
3212
3213
3214     #matrix = np.array([t_pole,v_pole,a_pole,a_celk_pole,p_pole])
3215     matrix = [t_pole, v_pole, a_pole, a_celk_pole, p_pole,vroz]
3216     matrixF = [vk1_p,vk2_p,vk3_p,vk4_p,vk5_p,vk6_p,Fk1_p,Fk2_p,Fk3_p,Fk4_p,Fk5_p,Fk6_p]
3217
3218     m_max = round(max(a_celk_pole),2)
3219     p_max = round(max(p_pole),2)
3220     n_mmax = int(round(v_pole[a_celk_pole.index(max(a_celk_pole))],0))
3221     n_pmax = int(round(v_pole[p_pole.index(max(p_pole))],0))
3222     #print matrix[2]
3223
3224     print kerej
3225     for i in range(1,6):
3226         if i==kerej:
3227             globals()["stitek" + str(i) + " text"].set((jmeno souboru + '\n' + str(m_max) +
3228                 "Nm pri " + str(n_mmax) + "ot/min" + '\n' + str(
3229                 p_max) + "PS pri " + str(n_pmax) + "ot/min" + '\n' + pozn))
3230             globals()["matrixr" + str(i)]=matrix
3231             globals()["matrixrF" + str(i)] = matrixF
3232             def ukaz_info_por_kerej():
3233                 ukaz_info_por(kerej)
3234             globals()["B_i" + str(i)] = Tkinter.Button(globals()
3235                 ["panelr" + str(i)], text="info", height=1, width=4, command=ukaz_info_por_kerej,
3236                 background="beige")
3237
3238             globals()["B_i" + str(i)].place(relx=1, rely=1, anchor="se")

```