

KONSTRUKCE A TECHNOLOGIE VÝROBY ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ VÝKONOVÝCH CHARAKTERISTIK MOTOCYKLU SVOČ – FST 2019

Adam Hamberger
A.Trägera 371/58, 370 10 České Budějovice

Česká republika

ABSTRAKT

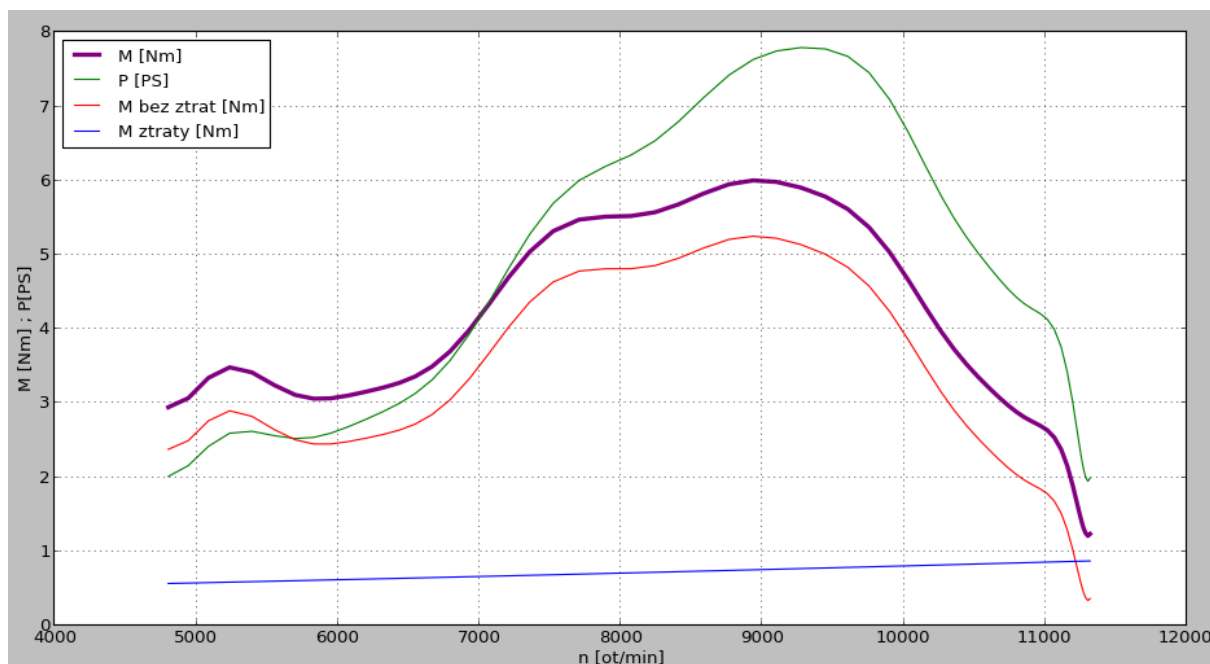
Tato práce se zabývá řešením potřeby měřit výkonové charakteristiky motocyklu. Charakteristikami se rozumí točivý moment, výkon motoru a hnací síly. Cílem práce je vyhotovení kompletního a funkčního měřicího zařízení, které dokáže zobrazit výsledky měření přímo na PC. Jedná se tedy o dynamometr, který využívá pro brzdění motoru setrvačnik 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.

KLÍČOVÁ SLOVA

Výkonové charakteristiky, dynamometr, točivý moment, výkon, motocykl, měření.

ÚVOD

Potřeba měřit charakteristiky je stará jako motorismus sám, proto existuje spousta specializovaných firem, které měření nabízejí. A to ať už jako měření samotné, kdy si zákazník pouze zaplatí papír s grafem závislosti točivého momentu a výkonu na otáčkách, anebo jako závěrečné zhodnocení provedené úpravy. V obou případech se ale jedná o vcelku nákladnou položku, což nutí závodní týmy zjišťovat výsledky úprav závodních motorů pouze pocitově anebo měřit velice zřídka, přičemž obojí značně omezuje dosažitelné výsledky. 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. Proto se tato práce zabývá výrobou zařízení, které navíc předčí běžně dostupné dynamometry svou cenou, kompaktností i přesností. Výroba pak obsahuje nejen vyhotovení hardwarové části, ale také programování měřicí aplikace včetně výroby čidla, jež do této aplikace posílá měřená data.

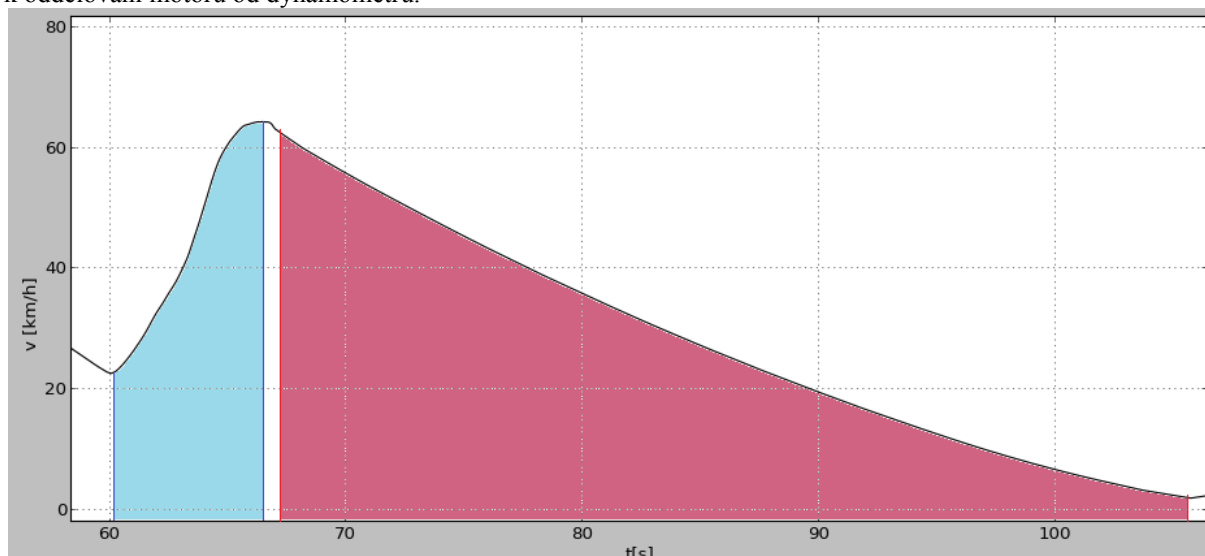


Obr. 1 - Točivý moment pro akceleraci, ztrátový moment a celkový moment s výkonem

PRINCIP MĚŘENÍ

Většina měření, jimiž se charakteristiky měří, se označují jako dynamická. Ta obsahují dobřehovou a rozběhovou zkoušku a využívají matematického vztahu popsaného rovnicí č.1. Při rozběhové zkoušce se libovolným převodem z motoru roztáčí závaží o známém momentu setrvačnosti, jehož úhlové zrychlení se měří a je vstupní veličinou pro výpočet charakteristik.

Tento rozběh se zaznamenává od nejnižších otáček po přidání plynu až do maxima při zařazeném rychlostním stupni. Potom je zapotřebí stanovit pasivní odpory (ztráty), které bránily motoru v roztáčení setrvačnicku. To se provádí zmíněnou dobřehovou zkouškou, jež probíhá při odděleném motoru od setrvačnicku nejčastěji vymáčknutou spojkou. Takto oddělený setrvačnick se pomalu zastavuje působením ztrát, jež se vypočtou rovněž z úhlového zrychlení (resp. zpomalení). Průběh rychlosti při akcelerační zkoušce je znázorněn modře na obr. 2, červená pak přísluší zkoušce dobřehové. Mezi barvami je pak úzké pásmo, které se nikam nezapočítává, protože při něm dochází k oddělování motoru od dynamometru.



Obr.2 - Průběh rychlosti při dynamickém měření

Rovnice č. 1 vyjadřuje zjištěný točivý moment jakožto součet výsledků z rozběhové a dobřehové zkoušky:

$$M = \alpha_{roz} \cdot I_{roz} + |\alpha_{dob}| \cdot I_{dob} \quad (1)$$

kde:

α_{roz} , α_{dob} - úhlové zrychlení rotoru při rozběhové a dobřehové zkoušce

I_{roz} , I_{dob} - redukovaný moment setrvačnosti rotujících hmot při rozběhové a dobřehové zkoušce

Rovnice č. 2 pak definuje výkon jako součin točivého momentu a úhlové rychlosti:

$$P = M \cdot \omega \quad (2)$$

Rovnice 1 a 2 jsou využívány měřicí aplikací ke stanovení grafů momentu a výkonu, které se souhrnně nazývají jako otáčková charakteristika, resp. výkonové charakteristiky.

DRUHY DYNAMOMETRŮ

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 již byla vysvětlena rovnicemi 1, 2. Silový účinek u válcových dynamometrů se převádí ze zadního kola principem třecího převodu přes pneumatiku na hmotný válec, jehož pohyb se analyzuje.

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 mařicí člen či nikoli, se souhrnně nazývají dynamometry (v cizojazyčných pramenech zkráceně dyno).



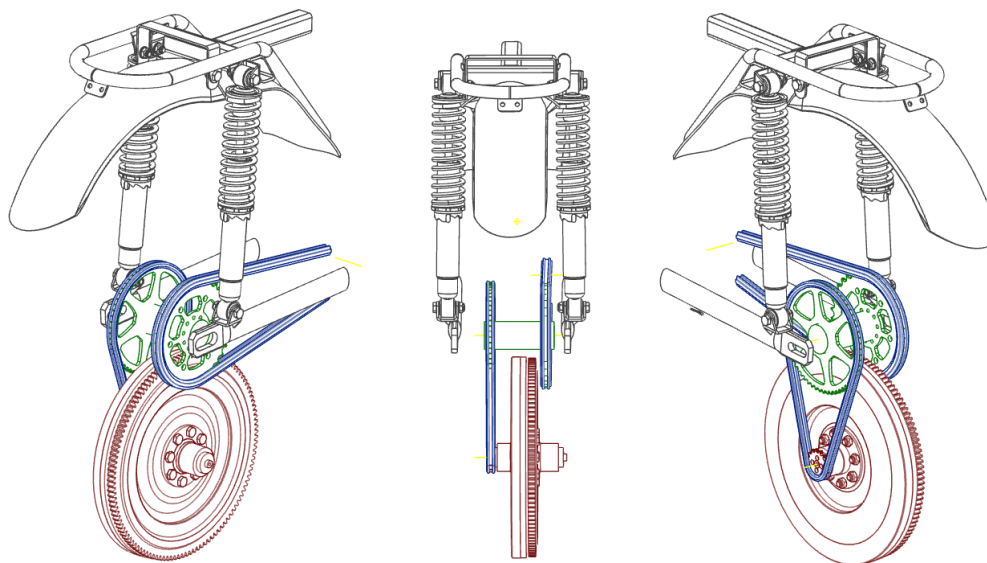
Obr. 3 – Válcový a motorový dynamometr [6], [7]

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 zahrnutého v rovnici 1.

Dále existují i dynamometry statického typu, jenž všechen měřený výkon promaří zmíněným mařicím členem, zatímco točivý moment mezi motorem a tímto členem je pak měřen např. tenzometrem. Ty jsou ale mnohem dražší a měření trvá obvykle delší dobu, slouží totiž zejména ke zjištění projevu motoru i mimo plné zatížení udržením v určitých otáčkách apod. Výše uvedené typy zařízení jsou velmi drahé, těžké a zabírají mnoho místa, proto se tato práce zabývá výrobou neobvyklého zařízení, které je malé, levné, přesné a zároveň přenosné.

NAVRŽENÝ DYNAMOMETR

Cílem je navrhnout měřicí zařízení tak, aby nevyžadovalo problematický třecí převod pneumatiky na válec a zároveň nebylo zapotřebí demontovat motor z motocyklu. Zařízení také musí být přenosné a finančně dostupné i menším závodním teamům a zároveň musí být univerzální pro motocykly do 11 kW. Protože valná většina motocyklů má sekundární převod řetězem, nabízí se této skutečnosti využít a napojit tak na něj měřicí zařízení. Tím by se tak vyřadil vliv třecího převodu přes pneumatiku.



Obr. 4 - Schéma umístění hřídelí v kyvné vidlici

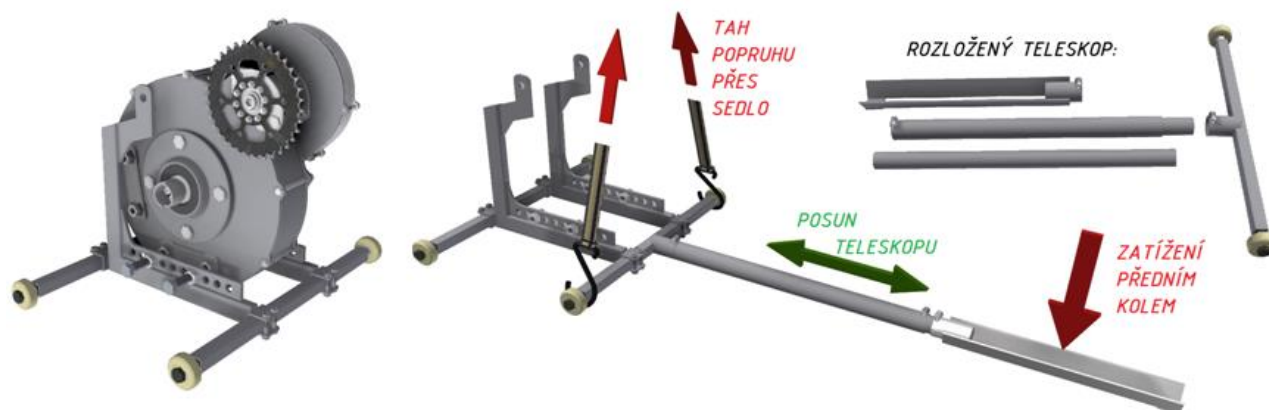
Další věc, jež při zjišťování setrvačných hmot činí problémy, je zadní kolo, jehož modelování do CAD programu je náročné, a zároveň jeho hmota není nezanedbatelná k tomu, aby se jeho setrvačný účinek nezapočítal do výsledku. Nabízí se tedy zadní kolo demontovat, což je elementární servisní úkon, a na jeho místo připevnit setrvačnick o známém momentu setrvačnosti, jehož pohyb se bude monitorovat.

Setrvačnick nahrazující zadní kolo by ale musel mít cca 200 kg, proto bylo využito teoretického poznatku z dynamiky, který popisuje nárůst setrvačného účinku převodem dorychla, jenž se rovná druhé mocnině poměru tohoto převodu. Jinými slovy, při čtyřnásobném urychlení setrvačnicku převodem naroste setrvačný účinek závaží šestnáctkrát. Proto je možno použít například setrvačnick z osobního automobilu, jenž má v tomto případě 12 kg.

KONSTRUKCE A TECHNOLOGIE VÝROBY

Z důvodu jednoduchosti a minimalizace nákladů na výrobu, jsou navrženy jednotlivé součásti tak, aby je bylo možno vyrobit i v těch nejméně vybavených dílenských provozech. Proto je zde využito většinou plechových výpalků, jež se dají snadno objednat a následně opracovávat. Hlavní jádro dynamometru tvoří dvojice hřídelí, tj. spodní pro uložení setrvačnicku, a horní, která přenáší hnací účinek ze sekundárního řetězu na vnitřní převod řetězem pro zmíněné čtyřnásobné urychlení.

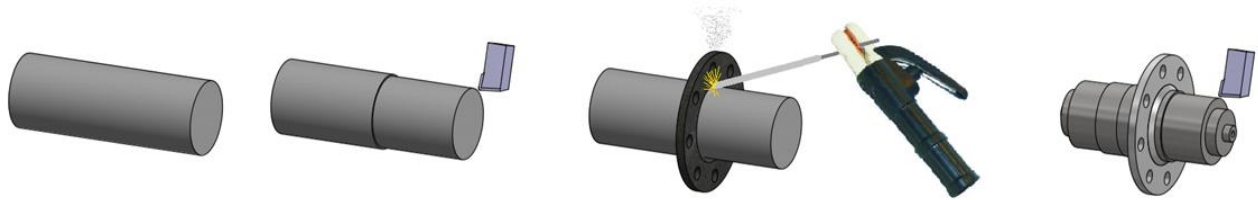
Tento celek je pak uzavřen v ocelové schránce tvořené rovněž výpalky. Tato schránka je pak různě polohovatelná ve variabilním stojanu tak, aby bylo možno zařízení přizpůsobit všem motocyklům.



Obr. 5 – Dynamometr se stojanem

Stojan včetně podélného teleskopu je složen ze svařenců, svařence jsou rovněž využity i uvnitř vlastního dynamometru. Typickým příkladem je např. hřídel setrvačnicku, kterou by bylo sice možné vyrobit např. na soustružnicko-frézovacím centru, ale to není účelem. Zde navržený postup je možné provést i v těch nejméně

vybavených provozech, protože spočívá pouze v navaření výpalku příruby na tyčový polotovar, přičemž k následnému obrobení stačí klasický soustruh.



Obr. 6 – Postup výroby hřídele setrvačníku

SENZOR

Úkolem senzoru je snímání časových rozestupů mezi jednotlivými průchody magnetu na rotoru dynamometru. Tento rozestup se značí jako diferenciál času dt a je to vstupní proměnná pro výpočet úhlové rychlosti ω a úhlového zrychlení α pomocí známých diferenciálních rovnic 3 a 4:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (4)$$

Diferenciál úhlu $d\varphi$ je pak úhlový rozestup mezi jednotlivými magnety rotoru.

Základní funkcí snímače je rozpoznání přítomnosti magnetu a okamžitá reakce v podobě odeslání čísla, jenž se rovná době, která uplynula od poslední detekce magnetu. Aby nebylo zapotřebí používat desetinný oddělovač, je posílaná hodnota v mikrosekundách. Přenos hodnot probíhá prostřednictvím sériové komunikace skrz USB kabel. Snímač je tvořen mikrokontrolerem Arduino Nano, program pro něj se vytváří v jazyce Wiring, jenž funguje na bázi jazyka C++. O detekci magnetu se stará Hallova sonda napájená napětím mikrokontroléru o hodnotě 5 V.



Obr. 7 – Otevřený senzor a magnet v řetězovém kole dynamometru

Senzor z obr. 7 pak posílá data skrze USB kabel do aplikace A26_DynoSoft.

APLIKACE A26_DynoSoft

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:

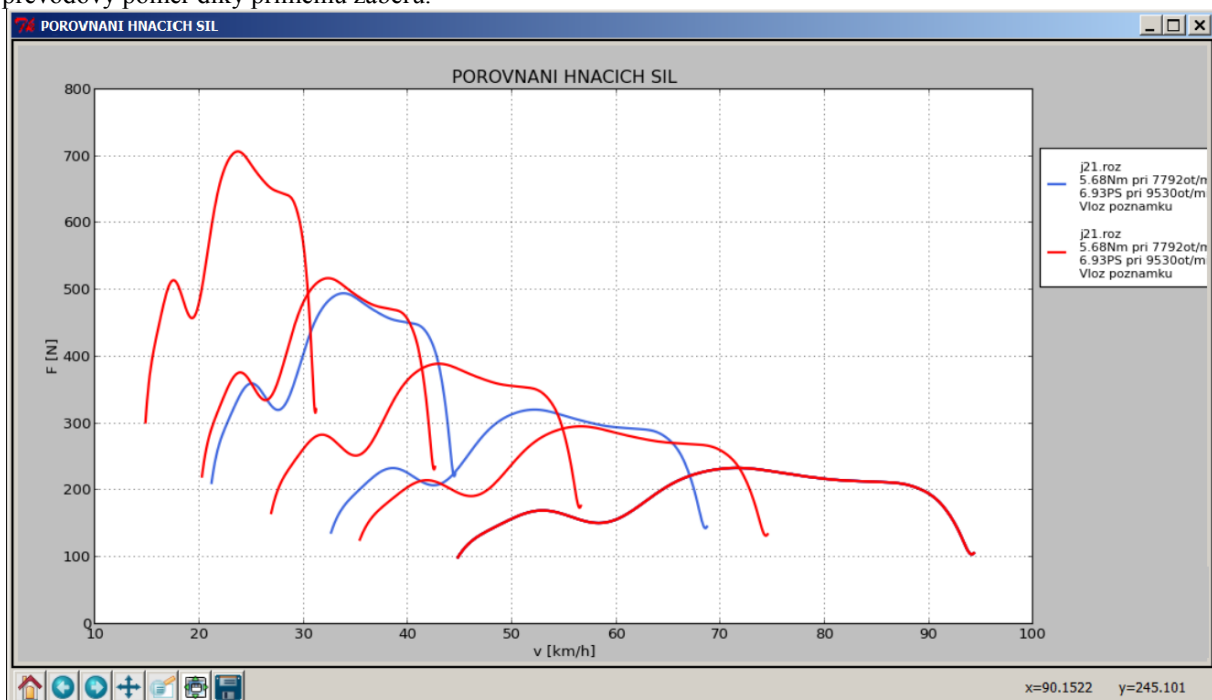
- ".nas" pro údaje nastavení (převodové poměry motocyklu, setrvačné parametry, atp.)

- ".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. Popis všech funkcí programu by potřeboval mnoho stran, a proto zde budou popsány pouze některé výstupy, které uživatel nejvíce ocení. 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, zadat adresář, kam se budou soubory rozběhů ukládat, popř. poznámku.

Klíčové je ale zadání podmínek, po jejichž splnění začne program charakteristiky vykreslovat. Běžně užívané softwary, pokud umožňují okamžité vykreslování charakteristik, reagují na stisknutí tlačítka ať už softwarového nebo 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. Další velmi užitečnou funkcí je predikce ztrát, tato funkce umožňuje to, že není zapotřebí při doběhové zkoušce čekat než se setrvačnick dotočí (viz. červená na obr. 2). Tato funkce šetří nejen čas, ale zároveň i vypínací mechanismus spojky, který není zapotřebí zatěžovat tak dlouhou dobu. Tímto způsobem je pak na základě regrese průběhu rychlosti možné dospět ke ztrátám z celého průběhu dotáčení i přesto, že doběhová zkouška trvala např. jen čtvrtinu jinak potřebného času.

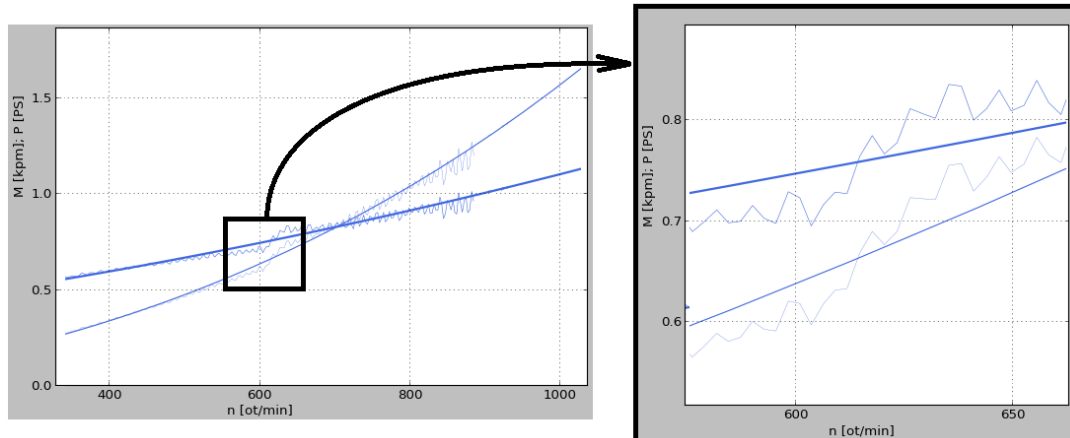
Kromě rozsáhlých možností porovnání naměřených výsledků je možné představit funkci pro optimalizaci převodovky. Tato funkce umožňuje pro vybrané měření vykreslit hnací síly až pro šestistupňovou převodovku s libovolnými převodovými poměry, čímž je možné porovnat hnací síly s dostupnými převodovkami, popř. zjistit požadované poměry pro co nejlepší zrychlení motoru a převodovku si nechat vyrobit na zakázku. Obr. 8 ukazuje, jak takový grafický výstup vypadá, jedná se o výsledky zjištěné jedním měřením, přičemž cílem je porovnání hnacích sil pro tři (modrá) a pětirychlostní převodovku (červená), kdy poslední rychlostní stupně mají stejný převodový poměr díky přímému záběru.



Obr. 8 – Porovnání hnacích sil

PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ

Prvotními zkouškami byla ověřena bezvadná funkce, přičemž se ukázalo, že je zařízení schopné rozeznat i velice malé rozdíly. K takovýmto rozdílům patří např. změna teploty ložisek, čímž ztuhne plastické mazivo v nich obsažené. Tepelnou stabilitu celého zařízení pak zlepšilo přidání 0,5 l převodového oleje do prostoru setrvačnicku, který olej rozstříkává, čímž je z ohřívajících se částí odváděno teplo. Dalším detekovatelnou nuancí je např. změna napětí sekundárního řetězu způsobeného nedostatečným předpětím zadního pérování motocyklu a sesednutí obsluhy v průběhu dobové zkoušky. To způsobí pohyb kyvné vidlice, zkrácení osové vzdálenosti kol sekundárního převodu a tím pádem i povolení řetězu.



Obr. 9 – Náhlý pokles na točivém momentu a výkonu pasivních ztrát při povolání řetězu odpružením

ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

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. Toto zařízení se již úspěšně používá a přispívá tak ke spokojenosti závodního týmu, který tak má přístup k dříve drahému měření. 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. Výhledem do budoucna je zřízení průmyslové ochrany a výroba dalších kusů, aby se měření výkonu motocyklů stalo finančně dostupnou činností pro více lidí.



Obr. 10 – Hotové měřící zařízení

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.

LITERATURA:

- [1] MERIAM, J.L. KRAIGE, L.G. *Engineering mechanics - Dynamics. 7th edition*. John Wiley & Sons, Inc., Virginia: 2013
- [2] MALÝ, Martin, *Hradla volty jednočipy*, CZ.NIC, Praha: 2017, ISBN 978-80-88168-26-3
- [3] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno: 2000.
- [4] HALTERMAN, Richard L *Fundamentals of Python programming*, Southern Adventist University: 2018.
- [5] STEJSKAL, Miroslav. *Zvýšení výkonových parametrů zážehového jednoválcového dvoudobého motoru*. Diplomová práce. VUTBR. Brno: 2012
- [6] Prüfstand M CH I 1000 [online]. [cit. 2019-3-16]. Dostupné z: <http://www.twbnet.com.br/deutsch/dinamometro-m-ch-i-1000.php>
- [7] Engine dynamometer [online]. [cit. 2019-3-16]. Dostupné z: <https://thekneeslider.com/nembo-motociclette-inverted-3-cylinder-super-32-rovescio-motorcycle-engine/>