

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů



Diplomová práce

**Měření a softwarové zpracování výkonových
parametrů motocyklů**

Autor: Petr Dlubal

2015 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra jakosti a spol. strojů

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Dlupal Petr

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Měření a softwarové zpracování výkonových parametrů motocyklu

Anglický název

Measurement and software evaluation of motorcycle power parameters

Cíle práce

Cílem práce je na vhodně zvolených příkladech analyzovat běžně užívané metody měření výkonových parametrů motocyklů. Důraz bude kladen zejména na provedení zkušebny, software zkušeben a na způsob zpracování měřených dat.

Metodika

Student vyhledá odbornou literaturu a související informační zdroje k tématu práce. Student zpracuje literární rešerši, v které zmapuje současný stav poznání v oblasti zadané problematiky. Dále se student seznámí s pokyny Technické fakulty pro vypracování a odevzdání bakalářské práce. Student bude pracovat systematicky a průběžně výsledky bude konzultovat s vedoucím práce. Student vypracuje čistopis práce a ten v řádném termínu odevzdá na sekretariátu katedry.

Osnova práce

1. Úvod
2. Literární rešerše
3. Vlastní práce
4. Závěr
5. Literatura



Rozsah textové části

60-70 stran

Klíčová slova

motocykl, zkušebna, výkon, moment, spotřeba, software, interpolace

Doporučené zdroje informací

BARTOŠ, J.-SAITLER, M.: Diagnostika technického stavu vozidel. Skripta VA Brno, 1969, S-2603

VLK, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Vydavatelství Vlk, Brno, 2005, ISBN 80-238-6573-0.

KREIDL, M.: Technická diagnostika, Praha : BEN, 2006. 408 s. ISBN 80-7300-158-6.

VITÁSEK, E.: Numerické metody. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987. 512 s.

Vedoucí práce

Peterka Bohuslav, Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2012

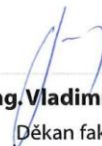
Termín odevzdání

duben 2014



prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 18.3.2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Měření a softwarové zpracování výkonových parametrů motocyklu“ jsem vypracoval samostatně za odborného vedení vedoucího diplomové práce Ing. Bohuslava Peterky, Ph.D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30. 3. 2015

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Bohuslavovi Peterkovi, Ph.D. za zájem, čas a připomínky, které věnoval mé práci.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na měření a softwarové zpracování výkonových parametrů motocyklu. Tato práce mapuje současný stav problematiky měření výkonu motocyklů, vyhodnocuje skutečná měření výkonových parametrů ve zkušebně a aplikuje několik statisticko-matematických metod na naměřených datech. V této práci jsou použity následující metody: regresní analýza, klouzavé průměry (prostá i vážená forma) a exponenciální vyrovnávání. Hlavním zdrojem dat pro tuto práci jsou naměřené údaje na válcové zkušebně firmy Moto COM test. Pro jednotlivé výpočty byl použit statistický software Statistica 12, SPSS 22 a MS Excel.

Klíčová slova

motocykl, zkušebna, měření, výkon, moment, software

Abstract

This diploma thesis focuses on measurement and software processing of power parameters of motorcycles. This thesis explores the present state of power measurement of motorcycles, evaluates actual measurements of power parameters in the motorcycle chassis dynamometer and applies several statistical and mathematical methods to the data. In this thesis, the following methods are used: regression analysis, moving averages (simple and weighted form) and exponential smoothing. The main source of data for this thesis are the data measured in the motorcycle chassis dynamometer of the company Moto COM test. The statistical software Statistica 12, SPSS 22 and MS Excel were used for individual calculations.

Keywords

motorcycle, motorcycle chassis dynamometer, measurement, performance, moment, software

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Literární řešerše.....	1
2.1	Historie měření.....	1
2.2	Motocyklové válcové zkušebny.....	5
2.3	Měřené veličiny.....	5
2.3.1	Otáčky.....	6
2.3.2	Teplota.....	10
2.3.3	Vlhkost vzduchu.....	12
2.3.4	Tlak vzduchu.....	13
2.3.5	Součinitel přebytku vzduchu.....	14
2.4	Vypočtené veličiny.....	15
2.4.1	Výkon.....	16
2.4.2	Účinnost.....	19
2.4.3	Točivý moment.....	20
2.4.4	Otáčková charakteristika motoru.....	22
2.5	Senzory použité pro měření výkonu.....	23
2.5.1	Indukční kleště.....	23
2.5.2	Senzor otáček klikového hřídele.....	24
2.5.3	Senzory teploty.....	25
2.5.4	Lambda sonda.....	27
2.5.5	Atmosférické podmínky.....	27
2.6	Normy měření.....	27
2.6.1	EEC 80/1269.....	28
2.6.2	ČSN 30 2008.....	30
2.6.3	DIN 70020.....	30

2.6.4	JIS D 1001.....	30
2.6.5	ISO 4106.....	31
2.6.6	SAE 1349	31
2.7	Metody měření	32
2.7.1	Statická zkouška.....	33
2.7.2	Dynamická metoda.....	35
2.8	Měření na válcové zkušebně	38
2.8.1	Příprava měření	40
2.9	Vyhodnocení (zpracování) měření dat.....	42
2.9.1	Proces měření.....	42
3	Přehled zkušeben válcových zkušeben.....	44
3.1.1	Land and Sea.....	44
3.1.2	Dynojet	46
3.1.3	Diag4Bike	47
3.1.4	MotoCOMTest	49
4	Numerické zpracování naměřených dat.....	50
4.1	Regresní analýza	50
4.2	Klouzavé průměry	52
4.2.1	Prosté klouzavé průměry.....	53
4.2.2	Vážené klouzavé průměry	53
4.3	Exponenciální vyrovnávání	53
5	Cíl	55
6	Metodika.....	55
7	Naměřená data	56
7.1	Zpracování naměřených dat	58
8	Vlastní část.....	68

8.1	Derivace vstupních dat	68
8.2	Aplikace trendových funkcí.....	69
8.3	Aplikace metody prostých klouzavých průměrů	70
8.4	Aplikace metody vážených klouzavých průměrů.....	76
8.5	Aplikace metody exponenciálního vyrovnávání	78
8.6	Celkové zhodnocení vlastní části	82
9	Závěr práce	87
10	Seznam tabulek.....	88
11	Seznam grafů	89
12	Seznam obrázků.....	89
13	Použité zdroje	92
14	Přílohy.....	1

1 Úvod

Zájem o měření výkonu spalovacích motorů je stejný jako motorismus sám. Nejstarší zařízení vhodná k měření výkonu spalovacího motoru byla svou konstrukcí i funkčním principem značně jednoduchá a s malou přesností měření. S rozvojem úrovně techniky rostly nároky na přesnost. V současné době je obor testování spalovacích motorů, díky vysokým požadavkům na přesnost měření, velmi rozsáhlým vědním oborem, který zasahuje do mnoha vědních disciplín. Rozvoj tohoto odvětví se promítl i do testování motocyklů. Měření se z továrních laboratoří rozšířilo i do specializovaných servisů a úpravců motocyklů, kde je cenným diagnostickým nástrojem. Zároveň slouží jako nástroj, zda provedené úpravy (tuning) mají za následek žádané zvýšení výkonu. Je to komplexní metoda, která přináší rychlé ověření, zda investované peníze byly vynaloženy účelně. Zastoupení má i v opravárenství, kde snížený výkon je indikátorem nesprávné funkce motoru způsobené provozním opotřebením nebo poruchovým stavem. S rostoucím počtem motocyklů se zvyšuje i zájem majitelů o zkoušky na válcových zkušebnách. Proto jsem se rozhodl touto problematikou zabývat ve své diplomové práci.

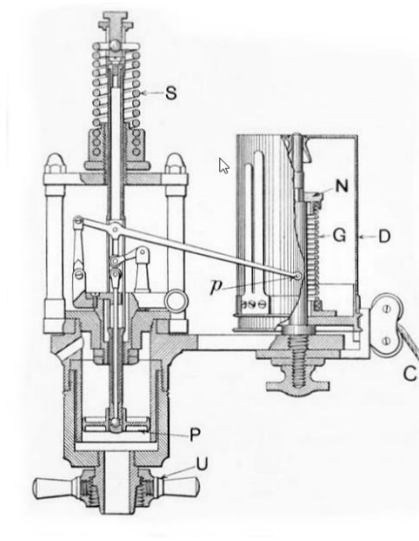
2 Literární rešerše

Literární rešerše se skládá z pojmů, které jsou základními stavebními kameny pro měření výkonových parametrů motocyklů.

2.1 Historie měření

Za počátek exaktního měření výkonu můžeme považovat měření výkonu parního stroje. Pro měření výkonu parního stroje byl využíván indikátorový diagram. Do grafu byla vynášena poloha křížáku a tlaku v pracovním prostoru pístu. Reálný p-V diagram zohledňuje technické možnosti, zejména konstrukci stroje a podmínky za jakých probíhají jednotlivé termodynamické děje [1]. Zařízení pro záznam p-V diagramu je na obr. 1 [2].

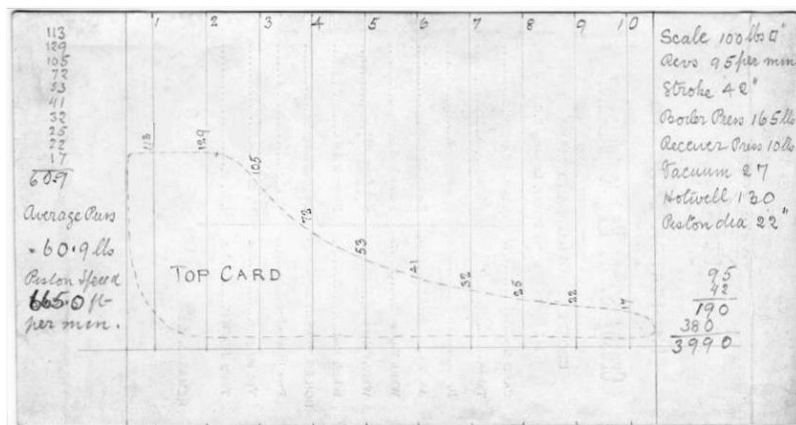
Obr. 1: Zařízení pro záznam p-V diagramu



Zdroj: www.oldengine.org/members/diesel/Indicator/Indicator1.htm

Na obr. 2 je zobrazen reálný p-V diagram parního stroje. Plocha vykreslená v grafu představuje množství vykonané práce, kterou vykoná stroj za jednu otáčku.

Obr. 2: p-V diagram



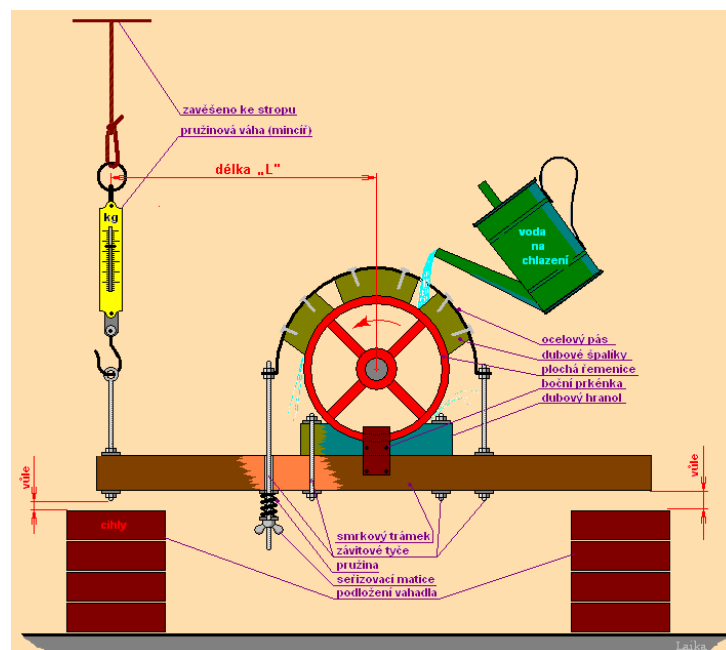
Zdroj: www.oldengine.org/members/diesel/Indicator/Indicator1.htm

Pronyho brzda

Jedním z prvních měřících přístrojů výkonu je Pronyho brzda. Roku 1821 ji představil francouzský fyzik Gaspard Clair François Marie Riche de Prony (1755-1839). Pro menší výkony řádu jednotek až stovek wattů stačí sevřít hřídel mezi dva dřevěné špalíky s prohlubní, viz obr. 3. Pro výkony větší je zapotřebí použít brzdu masivnější, např. dle níže uvedeného obrázku a nezapomenout ji během měření ochlazovat. Při dobrém provedení, velké kluzné ploše a vydatném chlazení dokáže tato brzda krátkodobě měřit výkony i v řádu desítek kilowattů [3].

Dnes se tato mechanická brzda na třecím principu nepoužívá, měření na ní je jednoduché ale zároveň velmi nepřesné.

Obr. 3: Pronyho třecí brzda



Zdroj: <http://mve.energetika.cz/uzitecnetabulky/pronyho-brzda.htm>

Z údajů změřených na brzdě lze vypočítat:

- a) jmenovitý výkon motoru

Motor se nastaví na chod se jmenovitým množstvím hnacího média (např. průtok vody vodní turbínou). Množství hnacího média je zapotřebí během brždění kontrolovat, případně nastavit tak, aby zůstávalo během celého měření stále stejné. Sledují se

otáčky a brzda se přitom pozvolna utahuje, až průběžné otáčky nezatíženého motoru poklesnou na otáčky jmenovité. Tedy na ty, na které je stroj podle výpočtů konstruován. Pak se odečte hodnota na stupnici váhy a vypočítá se výkon motoru.

b) výkonovou charakteristiku motoru

Při měření se brzda v postupných krocích utahuje. Při každém kroku se změří otáčky stroje a na váze se odečte brzdná síla. Takto se získá větší počet údajů, které se sestaví do přehledné tabulky. Údaje se v tabulce přepočítají na výkon. Podle tabulky se pak nakreslí graf, kde je na svislé ose výkon, na ose vodorovné otáčky. Graf se následně vyhodnotí a zvolí se podle něj neoptimálnější provozní otáčky a zatížení.

c) charakteristiku účinnosti motoru

Pokud se výkonových charakteristik změří více, při různém množství hnacího média, pak lze po přepočtu získat graf z kterého je patrné, jakou má motor v daném režimu účinnost a v praxi najít provozní oblast při které bude pracovat neekonomičtěji.

Vzorce pro výpočet výkonu na Pronyho brzdě:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot F \cdot L \quad (\text{W}) \quad (1)$$

Kde:

P výkon měřeného stroje (W)

n otáčky (s^{-1})

F síla (N)

L vzdálenost (m).

Nevýhodou je proměnlivý součinitel tření v závislosti na teplotě a nutnost neustálé regulace. Dnes se tato mechanická brzda na třecím principu nepoužívá, měření je jednoduché, ale zároveň velmi nepřesné [3].

2.2 Motocyklové válcové zkušebny

Válcová zkušebna pro motocykly je nejčastěji monoválcová. Skládá se z tuhého rámu, ve kterém je zabudován válec se známým momentem setrvačnosti. Ten je roztáčen kolem motocyklu a z měřeného zrychlení je vypočten točivý moment, který přenáší kolo na roztáčený válec. Válec je výhodnější mít těžší a hmotnosti se pohybují od 140 kg až do 800 kg, přičemž hmotnost kolem 200 kg je nejrozšířenější.

Výkon motoru je základním parametrem, který určuje správný technický stav motoru. Na základě poklesu výkonu lze usuzovat abnormální opotřebení rozhodujících částí motoru (pístová skupina, rozvodové ústrojí aj.), popř. na poruchu některé soustavy, která má rozhodující vliv na těsnost spalovacího prostoru, správnou tvorbu palivové směsi či okamžik zážehu. Rovněž si však musíme uvědomit, že při konkrétně naměřené, resp. přesněji vypočtené, hodnotě výkonu je potřebné se zeptat, s jakou hospodárností a s jakými vedlejšími důsledky bylo výkonu dosaženo. Např. dosažení výkonu v toleranci jmenovité hodnoty, avšak při abnormální spotřebě paliva, svědčí o špatném technickém stavu motoru[4].

Válcové zkušebny se využívají pro tyto účely:

- Brzdová stanoviště pro obecná měření;
- servisní stanoviště úprav motocyklů, kontrola programování ECU
- válcová zkušebna na konci výrobní linky;
- emisní válcová zkušebna;
- zkušebny spolehlivosti a emisní stability vozidla;
- válcové zkušebny pro měření vibrací a elektromagnetické kompatibility;
- zkušebny v klima-komoře a větrném tunelu.

2.3 Měřené veličiny

V následující kapitole jsou popsány veličiny, které jsou potřebné k sestavení otáčkové charakteristiky motoru. Zároveň je vysvětleno jakým způsobem měření realizujeme. K přesnému stanovení výkonu je ovšem nutno měřit i vedlejší veličiny, které se podílejí na přeměně energie vázané v palivu na mechanický výkon.

2.3.1 Otáčky

Přesné měření otáček (úhlové rychlosti) je podstatou měření výkonu. Úhlová rychlost popisuje rotační pohyb, vyjadřuje změnu dráhy v obloukové míře. Jednotkou je radián za sekundu.

$$\text{Okamžitá úhlová rychlost: } \omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}) \quad (2)$$

$$\text{Průměrná úhlová rychlost: } \omega = \frac{\varphi}{t} \quad (\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}) \quad (3)$$

Otáčky motoru

Získání otáček motoru můžeme rozdělit na dvě základní metody. První metodou je využít data, která využívá řídicí jednotka motoru (Electronic Control Unit). Jedná se o senzory zabudované v motocyklu, které řídicí jednotka využívá k řízení běhu motoru. Pokud není řídicí jednotka dostupná, můžeme signál z vnitřních senzorů získat na svorkách od příslušného senzoru.

Druhou možností je měření otáček s pomocí externích senzorů. Zde můžeme využít frekvence zapalování, která je přímo úměrná k otáčkám klikového hřídele. Pro dvoudobý motor je frekvence zapalování rovna otáčkám. U čtyřdobého motoru je frekvence zapalování poloviční.

Otáčky válce (setrvačníku)

Při dynamické zkoušce je znám moment setrvačnosti a průběžně měřeno úhlové zrychlení válce. Součin těchto dvou veličin udává výsledný kroutící moment na válci.

Kroutící moment na válci je vyjádřen ve vzorci ...

$$M = \varepsilon \cdot I \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad (4)$$

Kde:

M kroutící moment na válci (Nm)

ε úhlové zrychlení ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$)

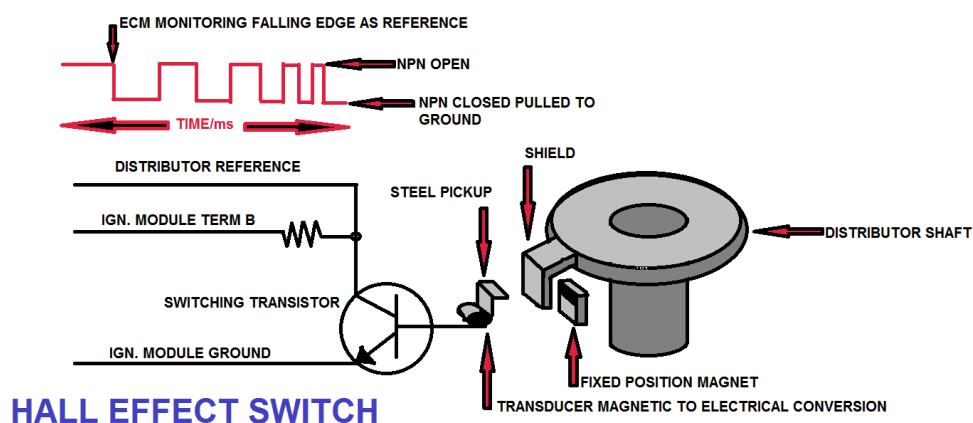
I moment setrvačnosti válce ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$).

2.3.1.1 Hallův senzor otáček

Hallův senzor je magnetoelektrický snímač (obr. 4), Jedná se o často používaný senzor otáček spalovacího motoru. Jedná se o tzv. aktivní snímač, tudíž vyžaduje napájení.

Tento snímač využívá Hallova jevu. Na rotujícím hřídeli je upevněn výstupek s rotujícím permanentním magnetem. Hallův snímač se skládá z polovodičové destičky napájené proudem. Pokud je rotující permanentní magnet v takové poloze, že jeho magnetické pole působí kolmo na protékající proud destičkou, je generováno Hallovo napětí. Generované napětí je malé, proto se musí před vyhodnocením zesílit.

Obr. 4: Princip Hallova snímače



Zdroj: <http://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Hall-Effect-Sensor-IC-Publications/Hall-Effect-IC-Application-Guide.aspx>

2.3.1.2 Indukční senzor otáček

Podstatou senzorů je působení magnetického toku v magnetickém obvodu (budícího obvodu) stálého magnetu na cívku. Provedení indukčního senzoru je na obr. 5. Napětí indukované v cívce je dáno vztahem:

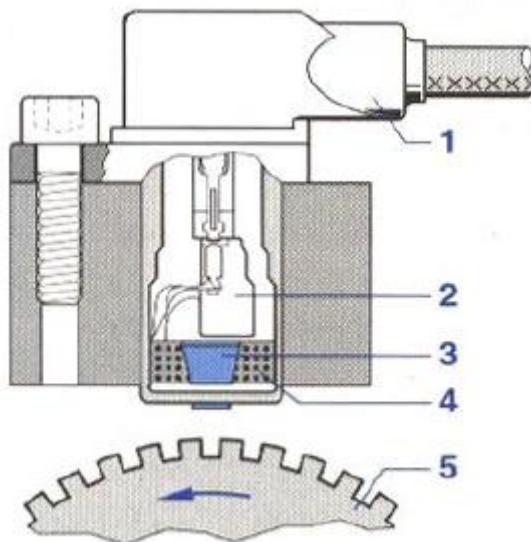
$$U = N \cdot d\phi/dt \quad (V) \quad (5)$$

Kde:

N počet otáček cívky

$d\phi/dt$ časová změna mag toku.

Obr. 5: Indukční senzor otáček



Legenda:

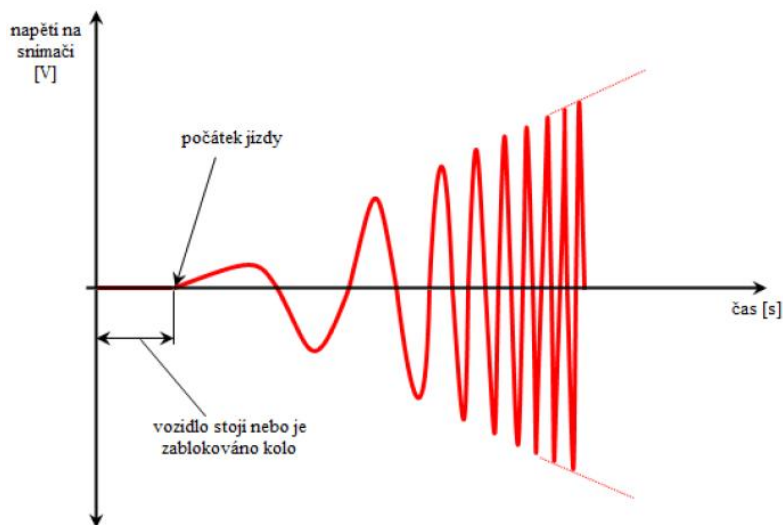
1. pouzdro elektrického vedení
2. permanentní magnet
3. jádro magneticky měkkého železa
4. vinutí
5. impulsní kolo

Zdroj: KOČÍ, P.: *Diagnostika a testování automobilů: učební text: studijní materiály pro studijní program Mechatronika. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2609-7.*

Signál:

Vyhodnocovací obvod v řídicí jednotce převádí sinusový signál s velmi rozdílnou amplitudou na pravoúhlé signály s konstantní amplitudou (obr. 6). Větší vzdálenost mezi zuby impulzního kola znamená pro řídicí jednotku informaci o horní úvrati pístu v prvním válci [5].

Obr. 6: Sinusový signál z indukčního čidla

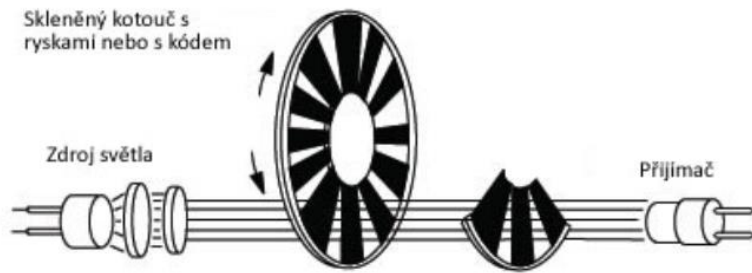


Zdroj: KOČÍ, P.: Diagnostika a testování automobilů: učební text: studijní materiály pro studijní program Mechatronika. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2609-7.

2.3.1.3 Optoelektronický snímač otáček

Často používaným je rotační inkrementální snímač otáček. Principem je clonění světelného toku mezi zdrojem světla (zpravidla LED) na detektor. Deflektorem je fototranzistor. Clonění je realizováno otáčivým mezikružím, které je rozděleno na světlopropustnou část a clonící. Při otáčení clony se jednotlivé úseky střídají a přerušují světelný tok od zdroje na fototranzistor. Princip snímače je na obr. 7.

Obr. 7: Optoelektronický snímač otáček



Zdroj: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/encodery>

2.3.2 Teplota

Teplota je skalární veličina charakterizující tepelný stav hmoty související s kinetickou energií částic látky. Je základní fyzikální veličinou SI a jednotkou je kelvin [K]. Vedlejší (odvozenou) jednotkou teploty je stupeň Celsia [°C]. Velikost dílu 1 °C je rovna 1 K. Další používanou jednotkou teploty je stupeň Fahrenheita, který se oficiálně používá v USA. Stupeň Fahrenheita je 5/9 stupně Celsia.

Platí:

$$0 \text{ K} = -273,15 \text{ °C}$$

$$0 \text{ °C} = +273,15 \text{ K}$$

$$0 \text{ °C} = 32 \text{ °F}$$

Přepočítání teplot:

$$C = \frac{5}{9} \cdot (F - 32) \quad (\text{°C})$$

$$F = \frac{9C}{5} + 32 \quad (\text{°F})$$

$$C = K - 273,15 \quad (\text{°C})$$

Kde:

F teplota ve stupních Fahrenheita ($^{\circ}\text{F}$),

C teplota ve stupních Celsia ($^{\circ}\text{C}$),

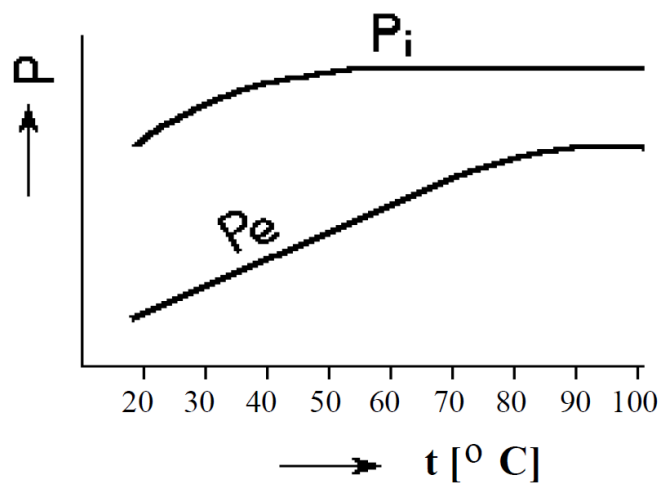
K teplota ve stupních Kelvina (K).

2.3.2.1 Teplota motoru

Při měření výkonových parametrů je nutné dodržet předepsanou pracovní teplotu.

Závislost teploty a efektivního výkonu je patrná z obr. 8..

Obr. 8: Teplota motoru



Zdroj: http://tf.czu.cz/~pexa/Predmety/TD/Prednasky/4p_TechDiag.pdf

2.3.2.2 Teplota výfukových plynů

Teplota výfukových plynů benzínového spalovacího motoru dává důležitou informaci o práci a technickém stavu motoru. Během pracovního cyklu kolísá v rozmezí 300 – 400 $^{\circ}\text{C}$ při sání a kompresi, a 500 – 800 $^{\circ}\text{C}$ při výfuku. Teplotu výfukových plynů ovlivňuje velké množství parametrů, např. množství paliva dodaného do válce, druh paliva (výchřevnost, měrná hmotnost aj.), předvstřík (předstih zážehu), časování ventilů, stav palivové soustavy, otáčky motoru, opotřebení pístu a válce, zanesení čističe vzduchu aj.

Při měření na válcové zkušebně se využívá bezdotykové měření teplot. Jedná se o měření povrchové teploty výfuku co nejbližší k výfukovému ventilu. Na základě elektromagnetického záření mezi tělesem a senzorem záření a to od 0,4 μm do 25 μm vlnové délky. Tento rozsah pokrývá teplotní rozsah od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Druhou možností je kontaktní měření termočlánkem, který se pevně připevňuje k začátku výfuku.

Prohřátí výfukového potrubí je podmínkou pro správnou funkci Lambda sondy, pokud není vyhřívána odporovým vyhříváním.

2.3.2.3 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu vstupujícího do spalovacího procesu má vliv na jeho hustotu, což v důsledku ovlivňuje plnicí účinnost motoru. Pokud je teplota vzduchu příliš nízká, dochází, z důvodu vysoké hustoty spalovacího vzduchu, ke špatnému a nerovnoměrnému mísení směsi, což může způsobit vynechávání motoru nebo zvýšení produkce emisí uhlovodíků a oxidu uhelnatého. Příliš vysoká teplota nasávaného vzduchu má za následek snížení plnicí účinnosti a výkonu motoru. Optimální hodnota teploty spalovacího vzduchu leží někde mezi těmito dvěma extrémy [7].

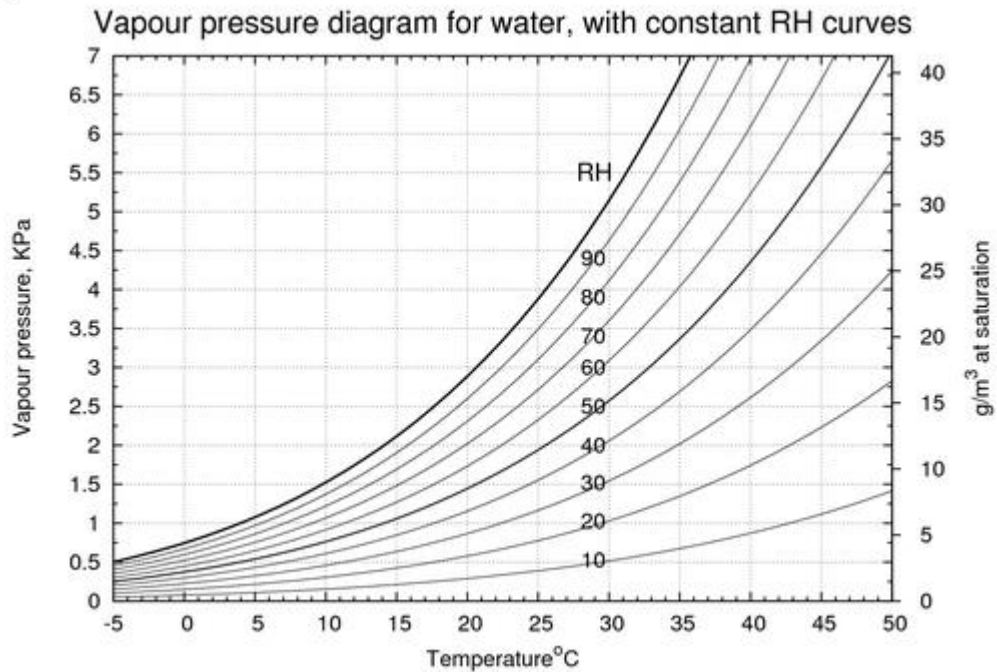
Teplota vzduchu nasávaného do motoru se měří ve vzdálenosti do 0,15 m před vstupem do vzduchového filtru. Čidlo musí být stíněn proti vyzařovanému teplu a umístěn přímo do proudu vzduchu (norma EHS) [8].

2.3.3 Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu má nezanedbatelný vliv na výkon motoru. Vodní pára obsažená ve vzduchu snižuje podíl kyslíku na objemovou jednotku vzduchu. Výhodou je chlazení spalovacího prostoru a redukce obsahu produktů nedokonalého spalování.

Některé normy předepisují tlak suchého vzduchu, ten vypočítáme z atmosférického tlaku a relativní vlhkosti. Na obr. 9 je závislost vlhkosti na teplotě a tlaku [7].

Obr. 9: Tlak vzdušných par



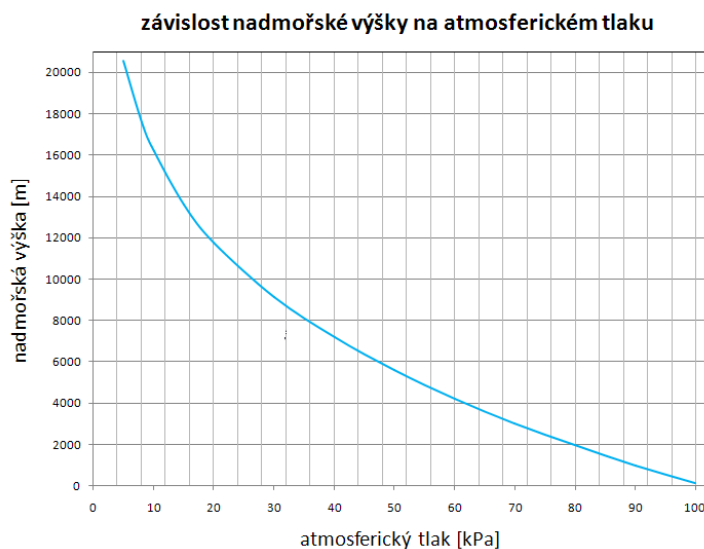
Zdroj: <http://www.conservationphysics.org/intro/fundamentals.php>

2.3.4 Tlak vzduchu

Tlak vzduchu má přímý vliv na výkon testovaného spalovacího motoru. Množství směsi, které motor do válce nasaje, lze totiž zvýšit či snížit, zvýšením respektive snížením tlaku nasávaného vzduchu. S větším množstvím směsi ve spalovacím prostoru pak roste výkon motoru. Tohoto principu využívají přeplňované motory.

Tíha vzduchového sloupce sahající od hladiny, kde se tlak zjišťuje, až k horní hranici atmosféry se s přibývajícím nadmořskou výškou této hladiny zmenšuje. Závislost tlaku na nadmořské výšce je zobrazena v obr. 10. Tlak vzduchu tedy s přibývajícím nadmořskou výškou klesá. Všeobecně platí, že ve výšce 5500 m tlak klesne cca na polovinu [10].

Obr. 10: Závislost tlaku na nadmořské výšce



Zdroj: <http://fyzweb.mff.cuni.cz/odpovedna/index.htm>

V našich zeměpisných podmínkách to znamená úbytek 10 % hmotnosti spalovacího vzduchu na 1000 výškových metrů. Proto je potřeba přihlídnout k tomuto faktoru při měření výkonu [10].

Korekce výkonu na základě teploty, atmosférického tlaku stanovují jednotlivé normy jednotlivé normy. Konkrétní korekční faktory jsou popsány v kapitole Normy měření.

2.3.5 Součinitel přebytku vzduchu

Složení směsi nasávané do válce má rozhodující vliv na výkon motoru. Množství vzduchu skutečně přivedeného do motoru se liší od teoreticky potřebného. Poměr obou množství se nazývá součinitel přebytku vzduchu a značí se λ .

$$\lambda = \frac{M_V}{M_p \cdot L_{VT}} \quad (-) \quad (6)$$

Kde:

M_V množství suchého vzduchu ve směsi (kg)

M_p množství paliva ve směsi (kg)

L_{VT} teoretické množství suchého vzduchu potřebné k dokonalé oxidaci 1 kg paliva (-).

U benzínu činí teoretické množství vzduch potřebné pro dokonalé spálení 1 kg paliva 14,8 kg. U spalovacích motorů bývá skutečné množství vzduchu větší, rovno nebo menší než je teoretické. Závisí to na způsobu tvorby směsi paliva se vzduchem, podmínkách zapálení směsi paliva se vzduchem nebo na režimu práce motoru.

U stechiometrické směsi je množství nasátého vzduchu rovno teoreticky potřebnému, pak je poměr $\lambda = 1$.

Je-li $\lambda < 1$ (přebytek paliva a nedostatek vzduchu) mluvíme o směsi bohaté a při $\lambda > 1$ (nedostatek paliva a přebytek vzduchu) o směsi chudé. Při plně otevřené škrtkové klapce dosahuje zážehový benzinový motor nejvyšší ekonomiky provozu (nejmenší měrné efektivní spotřeby paliva) a dostatečné stability průběhu hoření při $\lambda = 1,1$ až $1,3$. Maximální výkon dávají tyto motory při mírném obohacení směsi, $\lambda = 0,85$ až $0,9$. Množství směsi dopravované do válce se mění otevíráním a uzavíráním škrtkové klapky.

Poněkud jiná situace je u zážehových benzinových motorů vybavených řízeným katalyzačním tlumičem. V tomto případě je pomocí λ sondy a počítačem řízeného vstřikovacího zařízení udržována hodnota součinitele $\lambda = 0,95 - 0,97$, ve všech provozních režimech motoru. To umožňuje redukci NO_x ve vstupní části katalyzátoru. Dále pak probíhá oxidace CO a HC.

Měření součinitele přebytku vzduchu je důležité pro pochopení vnitřních procesů v motoru. Pomocí tohoto ukazatele můžeme odhalit nesprávně fungující regulaci vstřikování atd. [14].

2.4 Vypočtené veličiny

V této kapitole jsou uvedeny vztahy jednotky, které získáme výpočtem z naměřených hodnot na válcové zkušební při dynamické zkoušce.

Hodnoty nelze změřit na přímo, je nutné je ze známých vztahů určit výpočtem.

2.4.1 Výkon

Ve zkušebnictví motocyklů se zjišťuje mechanický výkon, což je jeden z nejdůležitějších parametrů charakteristiky motoru. Výkon je skalární veličina. Je definován jako množství práce vykonané za jednotku času. Při samotném měření neměříme přímo výkon, ale jiné veličiny a výkon pak dopočítáme ze známých vztahů. Výkon pístového spalovacího motoru je ovlivněn mnoha faktory, které musíme při výpočtu zohlednit.

$$P = M \cdot \omega = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M \quad (\text{W}) \quad (7)$$

Kde:

M točivý moment motoru (N.m)

ω úhlová rychlost ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)

n otáčky motoru (s^{-1})

P výkon (W).

V motoristické praxi se setkáváme i s jednotkami výkonu, které nejsou definovány pomocí jednotek SI. Velmi často se udává hodnota výkonu spalovacích motorů v jednotkách koňské síly. Zde je potřeba dát pozor, jelikož má koňská síla z historického vývoje dvě verze. [12]

Může jít o koňskou sílu definovanou Jamesem Watterem horsepower (HP), která je rovna vyzdvihnutým 33 000 stoplibrám za minutu. V době definování koňské síly neexistovaly jednotky SI, proto vychází definice z tehdy platných jednotek. Tato jednotka se nazývá mechanická koňská síla, někdy také imperiální. [12]

$$HP_{imp.} = 33000 \cdot \frac{ft \cdot lbf}{60} \approx 745,7 \text{ W} \quad (8)$$

Kde:

Ft britská stopa= 0,3048 (m)

lbf librová síla = 0,45359237 *g ≈ 4,448222 (N)

g tíhové zrychlení = 9,80665 (m.s⁻²).

Mechanická koňská síla se používá v USA a Velké Británii.

Pro metrický systém byla v Německu definována alternativa z používaných jednotek pod názvem *Pferdestärke* (PS), která byla stanovena jako výkon potřebný k vyzvednutí 75 kg do výšky 1 metru za 1 vteřinu.

$$PS = 75 \cdot \frac{kg \cdot m}{s} = 75 \cdot \frac{1 \cdot 9,80665}{1} = 735,49875 W \quad (9)$$

Porovnání metrické a mechanické koňské síly:

$$1 \text{ kW} = 1,34102 \text{ HP}$$

$$1 \text{ kW} = 1,35962 \text{ PS}$$

$$1 \text{ HP} = 1,015 \text{ PS}$$

K tomuto poměru je nutno přihlídnout při přepočtu, např. norma SAE 1349 používá imperiální jednotky výkonu.

2.4.1.1 Indikovaný výkon

Indikovaný výkon představuje hodnotu, získanou realizací pracovního oběhu spalovacího motoru ve vnitřním prostoru válce, bez uvažování ztrát. Indikovaný výkon motoru je úměrný součtu ploch indikátorových diagramů všech jeho válců. Základem určení indikovaného výkonu - P_i je indikátorový diagram oběhu spalovacího motoru a z jeho plochy získaná indikovaná práce. Výkon určíme při znalosti tlaku, plochy, pístu a otáček ze vztahu

$$P_i = \frac{i \cdot V_z \cdot p_S \cdot n}{30 \cdot z} \quad (W) \quad (10)$$

Kde:

P_i	indikovaný výkon (kW)
l	počet válců
p_s	střední hodnota indikovaného tlaku (MPa)
V_z	zdvihový objem válce (dm^3)
n	otáčky motoru (s^{-1})
z	$z=2$ pro dvoudobý motor; $z=4$ pro čtyřdobý motor.

2.4.1.2 Ztrátový výkon

Množství ztrátového výkonu spalovacího výkonu zahrnuje jednak odpor proti pohybu součástí motoru, jednak příkony pomocných zařízení spalovacího motoru důležitých pro jeho činnost, např.:

- zařízení pro dopravu paliv a přípravu směsi; rozvodový mechanismus,
- zařízení chladicího systému,
- zařízení mazacího systému,
- zřízení elektrické výstroje motoru,
- zařízení systému přeplňování,
- řídicí a regulační systémy.

Tyto ztráty jsou vyjádřeny i pomocí mechanické účinnosti, která je poměrem efektivního a indikovaného výkonu.

2.4.1.3 Efektivní výkon

Efektivní (užitečný) výkon je výkon zjištěný v místě odběru výkonu, tj. na výstupním konci hlavního hřídele motoru, případně na spojce, jestli přitom pracují všechny k motoru přímo připojené pomocné zařízení, bezpodmínečně potřebné k jeho vlastnímu, pravidelnému a trvalému chodu. Představuje hodnotu výkonu motoru využitelnou pro pohon spotřebičů. Jeho velikost je oproti indikovanému výkonu snížena o ztráty způsobené třením pohybujících se součástí motoru, o ztráty následkem pohonu pomocných zařízení motoru, o hydraulické ztráty a o ztráty spojené s výměnou náplně válců. Jestli celkový ztrátový výkon označíme P_z , potom efektivní výkon na klikovém hřídeli je roven rozdílu indikovaného výkonu P_i a ztrátového výkonu P_z .

$$P_e = P_i - P_z \quad (\text{W}) \quad (11)$$

Kde:

P_e Efektivní výkon (W)

P_i Indikovaný výkon (W)

P_z Ztrátový výkon (W).

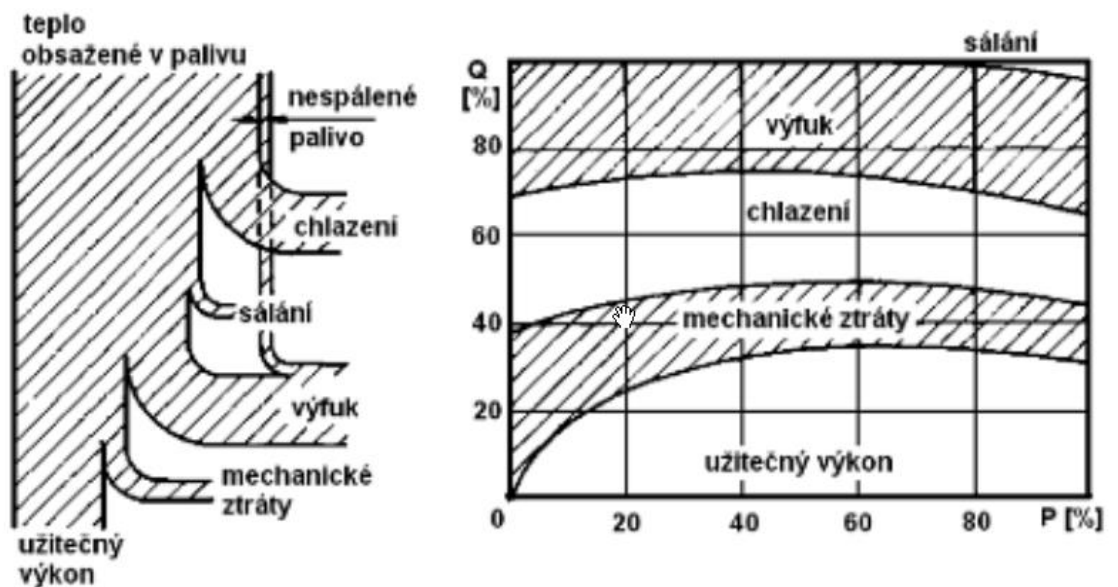
2.4.2 Účinnost

Mechanickou účinnost spalovacího motoru η_m je možno vyjádřit ze vztahu poměru indikovaného výkonu a mechanického výkonu.

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \cdot 100 \quad (\%) \quad (12)$$

Na obr. 11 jsou znázorněny tepelné ztráty benzínového spalovacího motoru

Obr. 11: Energetická bilance motoru



Zdroj: VLK, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel, Nakladatelství a vydavatelství vlk, Brno, 2001, ISBN 80-238-6573-0

2.4.3 Točivý moment

Z fyzikálního hlediska se jedná o moment síly, v technické praxi se často nazývá kroutící moment. Je definován jako součin kolmé síly a ramene otáčejícího se kolem osy.

Při statické zkoušce na válcové zkušební působíme dynamometrem brzdícím momentem na válec, po kterém se odvaluje hnací kolo. Dynamometr má stator kyvně uložen a ten na známém rameni vyvozuje sílu na siloměr. Ze změřené síly a ramene vypočítáme točivý moment.

Z uvedeného vztahu se vypočte točivý moment, který je přiváděn na

$$M = F \cdot R \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad (13)$$

$$M = I \cdot \varepsilon \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad (14)$$

Kde:

F síla působící na tenzometr (N)

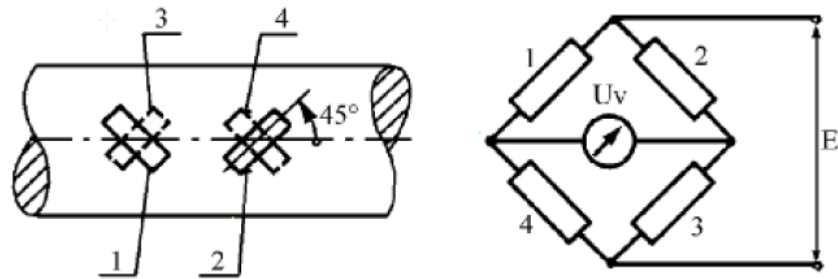
R vzdálenost osy rotace dynamometru od působíště síly (m)

ε úhlové zrychlení ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)

I moment setrvačnosti ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$).

Pro měření točivého (zkrutného) momentu se může použít také deformačních členů. Moment síly namáhá měřící člen (hřídel s kruhovým průřezem) krutem, který převádí na deformaci a měří tenzometrickými snímači nebo snímačem výchylky. Jiné konstrukce využívají změny magnetických vlastností deformačního členu. Pro určení výkonu je nutno zároveň měřit i otáčky rotující součásti. Zapojení tenzometrů je zobrazeno na obr. 12.

Obr. 12: Deformační členy na hřídeli



Zdroj: STODOLA, J.: *Spolehlivost a diagnostika. Učebnice vysokých škol. VA Brno, 1995, U-248*

$$M_T = \frac{2 \cdot U_v \cdot G \cdot W_k}{k \cdot E} \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad (15)$$

Kde:

- U_v registrované napětí měřícího můstku
- G modul pružnosti ve smyku
- W_k průřezový modul hřídele v krutu
- K konstanta
- E vstupní napětí.

Charakteristika pístových spalovacích motorů

Charakteristikou pístového spalovacího motoru se nazývají grafická znázornění vzájemných závislostí vybraných provozních veličin motoru v soustavě pravoúhlých souřadnic. Podle volby nezávisle proměnné rozdělujeme charakteristiky na:

- a) otáčkové charakteristiky (dříve nazývané rychlostní) - nezávislou proměnnou jsou otáčky klikového hřídele motoru n (min^{-1});
zatěžovací charakteristiky - nezávislou proměnnou může být M_k (Nm), p_e (MPa), P_e (kW);
- b) seřizovací charakteristiky - nezávislou proměnnou může být úhel předstihu zážehu α ($^\circ$), otvírací tlak trysky p (MPa) a další.

Samostatnou skupinu tvoří tzv. celkové (úplné, univerzální) charakteristiky.

Soustavu charakteristik tvoří diagram obsahující několik charakteristik jednoho druhu v týchž souřadnicích. Podle druhu charakteristik rozlišujeme:

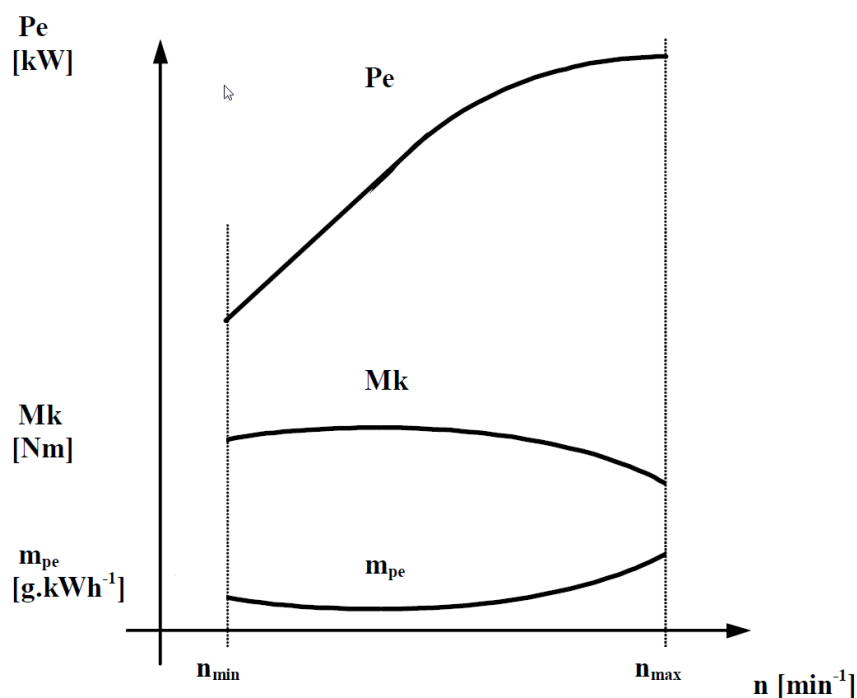
- a) soustavu otáčkových charakteristik;
- b) soustavu zatěžovacích charakteristik [15].

2.4.4 Otáčková charakteristika motoru

Otáčkové charakteristiky znázorňují závislost užitečného výkonu P_e (kW), kroutícího momentu M_k (Nm), hodinové spotřeby paliva G_p [$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$] nebo měrné spotřeby paliva m_{pe} ($\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$) a dalších parametrů na otáčkách n (min^{-1}) klikového hřídele motoru při konstantní poloze ovládacího orgánu řízení dodávky paliva do motoru. Přechod na jiný otáčkový režim práce motoru je tedy řízen pouze změnou brzdného momentu.

Vnější otáčková charakteristika zážehového motoru je měřena při plném otevření škrtící klapky karburátoru, nebo vzduchové přívěry u motorů se vstřikováním paliva. Na obr. 13 jsou vyneseny průběhy kroutícího momentu M_k , výkonu P_e a měrné efektivní spotřeby paliva m_{pe} . Maximální otáčky n_{max} nesmějí být při provozu motoru překračovány a otáčky minimální n_{min} jsou otáčky umožňující dlouhodobý provoz motoru při plném zatížení.

Obr. 13: Vnější otáčková charakteristika zážehového motoru



Zdroj: KOČÍ, P.: Diagnostika a testování automobilů: učební text: studijní materiály pro studijní program Mechatronika. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2609-7.

2.5 Senzory použité pro měření výkonu

V této kapitole jsou popsány senzory používané při dynamické zkoušce na válcové zkušebně pro motocykly.

2.5.1 Indukční kleště

Snímací kleště jsou vhodné jako snímač otáček (induktivní snímání) motoru. Kleště se připevní na vysokonapěťový kabel vedoucí od cívky k zapalovací svíčke. Na obr. 14 je příklad indukčních kleští.

Obr. 14: Indukční kleště

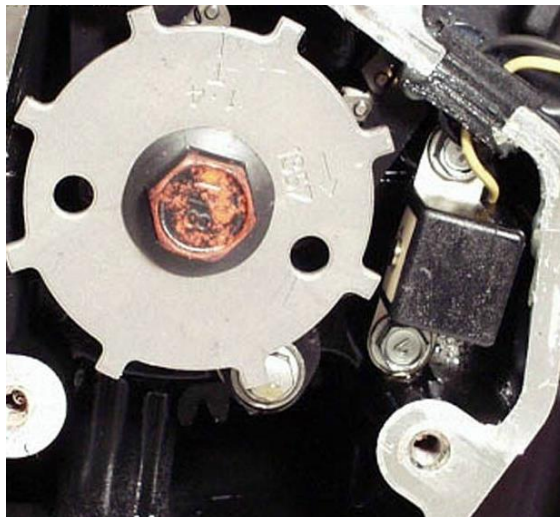


Zdroj: <http://www.jb-elektronik.cz/hvc95.php>

2.5.2 Senzor otáček klikového hřídele

Jedná se o senzor, který je zabudován v motocyklu (obr. 15). Zde je u většinou požit Hallův senzor nebo indukční senzor.

Obr. 15: Senzor otáček klikové hřídele

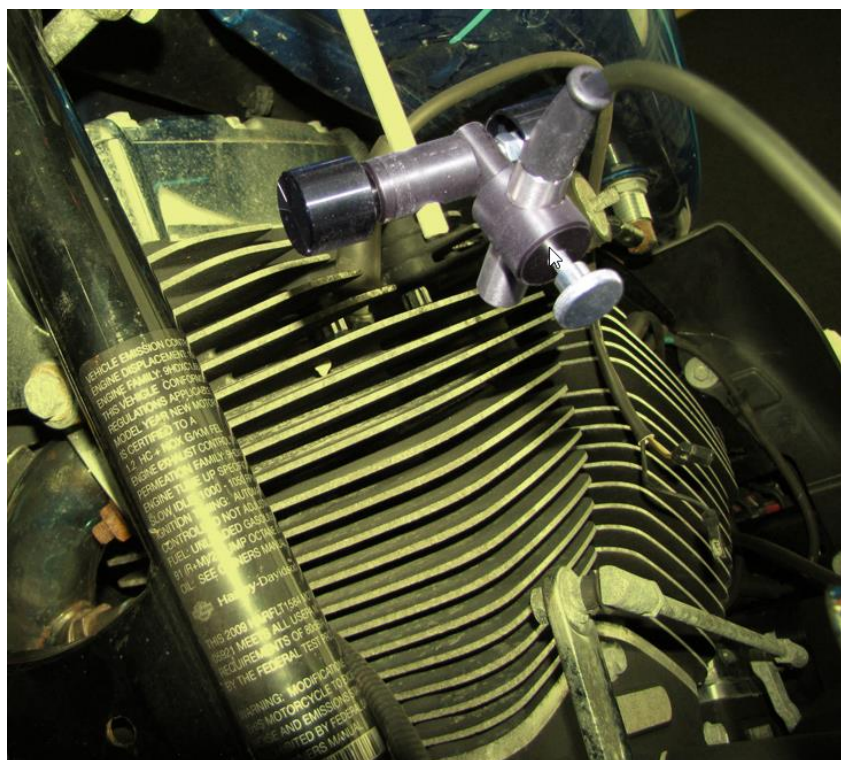


Zdroj: <http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/zkratky-systemu-motocyklu-4376.html>

2.5.3 Senzory teploty

Pro vzduchem chlazené motory můžeme využít bezkontaktní infračervený teploměr (obr. 16). Obzvláště u vzduchem chlazených motorů je důležité sledovat teplotu motoru. Při nedostatečném náporu chladícího vzduchu může dojít k přehřátí motoru, zkráceným výsledkům měření. V krajním případě k poškození motoru.

Obr. 16: Senzor teploty

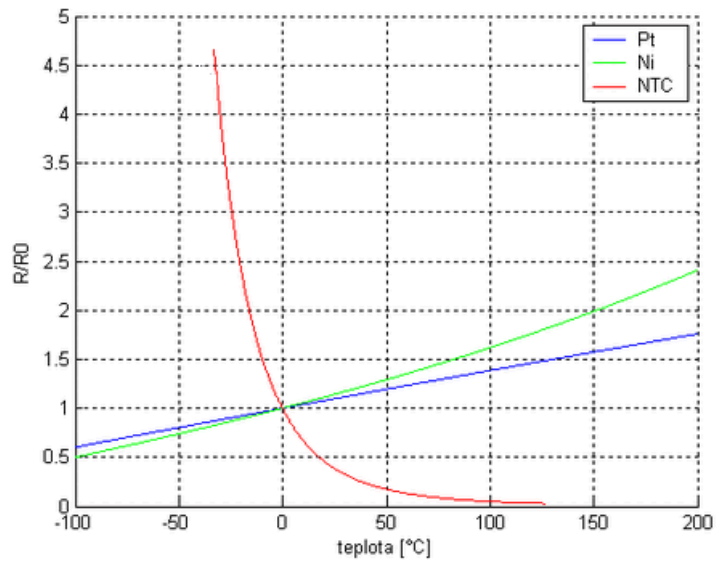


Zdroj: <http://www.diag4bike.cz/hd/tuning-motoru/smart-power-bench.html>

2.5.3.1 Senzor teploty motoru (chladičí kapaliny)

Snímačem teploty jsou vybaveny motory, které řidiči ukazují teplotu provozní kapaliny. Snímač obsahuje polovodičový prvek (nejčastěji typu N), který výrazně mění svůj odpor v závislosti na teplotě a to nepřímo úměrně (z toho vyplývá označení NTC - negative temperature coefficient). Závislost odporu a teploty je na obr. 17.

Obr. 17: Elektrický odpor čidla v závislosti na teplotě



Zdroj: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>

2.5.3.2 Senzor teploty nasávaného vzduchu

Senzor je umístěn v airboxu za vzduchovým filtrem směrem k sání. Poloha senzoru je zvýrazněna na obr. 18 červenou šipkou. Pokud to konstrukční řešení umožňuje, můžeme použít k měření zabudovaný senzor. Toto řešení je složité, jelikož je nutný přepočít z naměřeného odporu na teplotu, nutnost znát charakteristiku senzoru.

V praxi se většinou používá externí senzor měřící teplotu okolního vzduchu, za které se zkouška provádí.

obr. 18: Umístění čidla teploty v sání



Zdroj: <http://www.advriders.com/forums/showthread.php?t=603151>

2.5.4 Lambda sonda

Při dynamické zkoušce může být připojena externí Lambda sonda, kterou můžeme kontrolovat správnou funkci karburátoru nebo vstřikování paliva. Dynamická zkouška se v principu dá provést i bez připojené lambda sondy.

2.5.5 Atmosférické podmínky

V kapitole 2.3 jsou popsány vnější vlivy, které ovlivňují účinnost spalovacího motoru, tyto podmínky je potřeba zohlednit. Využívá se k tomu korekční faktor, kterým se naměřený výkon násobí. K získání hodnoty korekčního faktoru musíme znát barometrický tlak, teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu.

Výpočet korekčního faktoru je popsán v následující kapitole.

2.6 Normy měření

V této kapitole jsou představeny normy zabývající se dynamickým měření výkonu. Z hlediska měření na válcové zkušební je podstatný korekční faktor, který jednotlivé normy stanovují výpočtem dle podmínek v průběhu zkoušky.

2.6.1 EEC 80/1269

EEC 80/1269 je směrnice rady evropských společenství o sblížení právních předpisů členských států. Týká se výkonu motorů motorových vozidel (80/1265/EHS). Předpis se týká spalovacích motorů pro vozy kategorie M a N.

Netto výkonem se rozumí výkon dosažený na zkušebním stavu na konci klikového hřídele nebo rovnocenného orgánu při odpovídajících otáčkách motoru s pomocným zařízením.

Pomocným zařízením se rozumí:

- sací systém;
- výfukový systém;
- zařízení pro vstřikování paliva, karburátor;
- chlazení kapalinou;
- chlazení vzduchem;
- elektrická zařízení.

Může-li se měření výkonu provádět pouze na motoru s namontovanou převodovkou, je nutno brát v úvahu účinnost převodovky

Točivý moment

Výkon dynamometru musí být takový, aby se nepoužívala první čtvrtina jeho stupnice. Měřicí zařízení musí mít přesnost $\pm 0,5$ % nejvyšší hodnoty stupnice (s výjimkou první čtvrtiny). Stupnice mezi jednou šestinou a jednou čtvrtinou celkového rozsahu stupnice však může být použita, má-li měřicí zařízení v jedné šestině stupnice přesnost $\pm 0,25$ % nejvyšší hodnoty stupnice.

Otáčky motoru

Přesnost měření musí být $\pm 0,5$ %. K měření otáček motoru je třeba přednostně použít čítač otáček samočinně synchronizovaný s chronometrem.

Teplota nasávaného vzduchu na vstupu do motoru ± 2 °C

Barometrický tlak ± 2 mbar.

Tlak v sacím potrubí $\pm 0,5$ mbar

Tlak ve výfukovém potrubí ± 2 mbar

Zkouška se provádí při plném plynu, měří se při stabilizovaných pracovních podmínkách a při dostatečných dodávkách čerstvého vzduchu. Podmínky zkoušky by měly být co nejbližší referenčním podmínkám. Aby byla hodnota korekčního součinitele co nejnižší.

Referenční atmosférické podmínky:

- Teplota 25 °C = 298 K
- Tlak suchého vzduchu 990 mbar
- Zkouška je platná pokud K je v intervalu $0,96 \leq K \leq 1,06$

$$K_{EHS} = \left(\frac{990}{p_S}\right) * \left(\frac{T}{298}\right)^{0,5} \quad (-) \quad (16)$$

$$p_S = p_{atm} - p_{vp} \quad (\text{hPa}) \quad (17)$$

Kde:

T absolutní teplota vzduchu na vstupu do motoru (K)

P_S atmosférický tlak suchého vzduchu v mbar, tj. celkový barometrický tlak minus tlak vodní páry

P_{atm} atmosférický tlak (mbar)

P_{vp} tlak vodní páry (mbar).

2.6.2 ČSN 30 2008

Pro převod na normální atmosférické podmínky se změřená hodnota točivého momentu, výkonu zážehových motorů násobí součinitelem K_0 , stanoveným podle následujícího vzorce:

$$K_0 = \frac{100}{p} \cdot \left(\frac{T}{298} \right)^{0,5} \quad (-) \quad (18)$$

Kde:

T absolutní teplota nasávaného vzduchu (K)

p atmosférický tlak (kPa).

Korekční součinitel se používá v rozsahu 0,96 až 1,06. Pokud podmínky nevyhovují, musí se uvést v protokolu o zkoušce.

2.6.3 DIN 70020

Německá národní norma (Deutsche Industrie-Norm)

Referenční atmosférické podmínky:

- Teplota 20 °C = 293 K
- Tlak suchého vzduchu 1013,25 mbar

$$K_{DIN} = \left(\frac{1013,25}{p_{atm}} \right) - \left(\frac{T}{293} \right)^{0,5} \quad (-) \quad (19)$$

Kde:

p_{atm} atmosférický tlak (mbar)

T absolutní teplota vzduchu na vstupu do motoru (K).

2.6.4 JIS D 1001

Japonská norma (Japanese Industrial Standards)

Referenční atmosférické podmínky:

- Teplota 20 °C = 293 K
- Tlak suchého vzduchu 1013,25 mbar

$$K_{JIS} = \left(\frac{1013,25}{p_s} \right) * \left(\frac{T}{293} \right)^{0,75} \quad (-) \quad (20)$$

$$p_s = p_{atm} - p_{vp} \quad (\text{mbar}) \quad (21)$$

Kde:

T absolutní teplota vzduchu na vstupu do motoru (K)

p_s atmosférický tlak suchého vzduchu (mbar)

p_{atm} atmosférický tlak (mbar)

p_{vp} tlak vodní páry (mbar)

T absolutní teplota vzduchu na vstupu do motoru (K).

2.6.5 ISO 4106

Mezinárodní norma 4106:2012 (International Organization for Standardization), vychází z normy ISO 1585, která je určena pro vozy kategorie M a N.

Tato norma je základem pro normu měření výkonu na vozech kategorie L.

$$K_{ISO} = \left(\frac{990}{p_s} \right)^{1,2} * \left(\frac{T}{298} \right)^{0,6} \quad (-) \quad (22)$$

$$p_s = p_{atm} - p_{vp} \quad (\text{mbar}) \quad (23)$$

T absolutní teplota vzduchu na vstupu do motoru (K)

p_s atmosférický tlak suchého vzduchu (mbar)

p_{atm} atmosférický tlak (mbar)

p_{vp} tlak vodní páry (mbar).

2.6.6 SAE 1349

SAE International je standardizační organizací a profesním sdružením odborníků pro oblast motorových dopravních prostředků. Dokument SAE J1349 není omezen na silniční vozidla.

Referenční atmosférické podmínky:

- Teplota 25 °C = 298 K
- Tlak suchého vzduchu 990 mbar
- Koeficient je platný v rozsahu pro tlak 90-105 kPa a teplotě 15-35 °C

$$K_{SAE} = \left(\frac{990}{p_S}\right) \left(\frac{T}{298}\right)^{0,5} \quad (-) \quad (24)$$

$$p_S = p_{atm} - p_{vp} \quad (\text{mbar}) \quad (25)$$

Kde:

p_{atm} atmosférický tlak (mbar)

p_{vp} tlak vodní páry (mbar).

2.7 Metody měření

Používané metody lze rozdělit z hlediska uložení motoru a způsobu zatížení. Uložení motoru může být buď na zkušebním stanovišti, nebo v motocyklu.

Metody zatížení dělíme na statické a dynamické. Statická zkouška se vyznačuje konstantními otáčkami motoru, kdy měříme brzdny moment. Dynamická zkouška spočívá v urychlování setrvačných hmot samotného motoru (volná akcelerace) nebo přidaných setrvačných hmot (válcová zkušebna).

Tab. 1: Rozdělení metod měření výkonu

Způsob zatížení	Uložení motoru	Měření výkonu na	Princip měřícího zařízení
Stacionární (statické) předvolené otáčky motoru jsou udržovány zatěžovacím momentem brzdy (automobilové motory) zatěžovací moment se volí nezávisle na otáčkách (motory s vlastní regulací)	zkušební stanoviště	<i>klíkovém hřídeli</i> nebo jiném srovnatelném místě	<i>Absorpční dynamometry:</i> - elektromagnetické vířivé brzdy - hydraulické brzdy - mechanické frikční brzdy - vzduchové brzdy (virtulové) - tandemové brzdy (kombinace)
	ve vozidle (v místě instalace)	<i>obvodu hnacích kol</i> (válcové zkušebny)	<i>Univerzální dynamometry:</i> - elektrodynamické motorgenerátory na stejnosměrný nebo střídavý proud <i>Torzní dynamometry</i> (nebrzdí)
		<i>klíkovém hřídeli</i> nebo jiném srovnatelném místě	
Dynamické urychlování setrvačných hmot zvoleným točivým momentem	ve vozidle	<i>obvodu hnacích kol</i> (válcové zkušebny)	<i>měření úhlového zrychlení setrvačných hmot</i> (přídavné setrvačníky na válcích)
		<i>klíkovém hřídeli</i> nebo jiném srovnatelném místě	<i>měření úhlového zrychlení klíkového hřídele samotného motoru (volná akcelerace)</i> nebo s přídavnými setrvačnými hmotami při jízdě na určitý převodový stupeň
		<i>přepočet výkonu na klíkový hřídel</i>	<i>měření přímočarého zrychlení celého vozidla</i>

Zdroj: PEXA, M.: *Disertační práce - Možnosti uplatnění dynamických měření při diagnostice motorových vozidel. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2005.*

2.7.1 Statická zkouška

Obvykle se statickým (stabilním) zatížením spalovacího motoru rozumí takové zatížení, které umožní nastavení předvolených otáček, které jsou v průběhu snímání jednotlivých vstupů a výstupů z motoru konstantní. K udržování příslušného zatížení slouží celá řada dynamometrů.

2.7.1.1 Na zkušebním stanovišti motorovým dynamometrem

Tento způsob měření spalovacího motoru vychází z normy ISO 1585:1992 „Silniční vozidla – Zkoušky motoru – Výkon netto“ nebo ČSN 30 2008 „Motory automobilové - Zkoušky na brzdovém stanovišti“. Motor je v tomto případě demontován z vozidla a uložen na měřící stanoviště, kde je dovybaven pouze pomocným zařízením, které je

nezbytné k jeho provozu. Měření výkonových parametrů motoru na zkušebním stanovišti patří k základním způsobům snímání parametrů na klikovém hřídeli. Příslušná norma limituje přesnost měření jednotlivých signálů včetně korekcí na standardní podmínky. Z tohoto důvodu je takovéto měření považováno za plně průkazné. Z praktického hlediska se však i zde vyskytují chyby měření, které mohou být například způsobeny vlastními ztrátami a hysterezí použitého dynamometru, chybou snímačů reakční síly a případně také snímači teplot a atmosférického tlaku, které se projeví jako chyba ve výpočtu korekčních činitelů na referenční atmosférické podmínky. Zkušební stanoviště je s ohledem na své vysoké pořizovací náklady, požadavky na čas a pracnost vhodné zejména pro vývoj nových motorů, zkoušení při jejich výrobě a případně homologační měření. Pro běžnou servisní a opravářskou praxi je tento způsob měření výkonových parametrů nevhodný i s ohledem na nestejně provozní podmínky v zabudovaném stavu a ve stavu uložení na zkušebním stanovišti (obr. 19), (například rozdílná sací a výfuková soustava) [21].

Obr. 19: Měřicí stolice spalovacího motoru



Zdroj: <http://www.land-and-sea.com/motorcycle-dyno/motorcycle-dyno.htm>

Točivý moment na výstupu z motoru lze měřit pomocí tenzometrických snímačů na výstupním konci klikového hřídele. Měření točivého momentu bývá spojeno s mnoha obtížemi, např. s nutností instalace tenzometrů, přenosem signálů z rotační části na stator aj. [4].

2.7.1.2 *Měření ve vozidle, statická metoda*

Tato metoda měření dosahuje srovnatelných přesností měření jako předchozí metoda, ale pouze při měření výkonových parametrů na obvodu hnacích kol. Ten je proti skutečnému výkonu motoru obvykle nižší. Navíc dochází ve vozidlech při přenosu rychlosti a momentu k transformaci v převodových a jízdnicích částech. Lze tedy říci, že nejvýznamnější ztráty vznikají právě při přenosu energie z klikového hřídele na hnací kolo a jsou závislé na účinnosti částí, jako je spojka, převodovka, sekundární převod, apod. Dalšími ztrátami jsou ztráty, které se týkají prokluzu a deformační práce pneumatiky s jistým vlivem ventilačních ztrát při jejich rotaci. Velikost těchto ztrát je do jisté míry náhodného charakteru a není ani u vozidla stejné typové řady obvykle shodná. Na velikost ztrát má vliv technický stav a mazání všech třecích dvojic převodovky a také řada faktorů, které se týkají pneumatiky jako je stav dezénu a nahuštění. V hydraulických, elektrických a jiných soustavách se vyskytují energetické akumulátory, které způsobují kmitání soustavy. Obdobný problém hrozí právě i v uvedených mechanických soustavách, kdy přelévání energie z jednoho do druhého akumulátoru může ovlivnit měření. Velikost celkových převodových ztrát při měření na válcových dynamometrech uváděná v literatuře je značně nejednotná. Ve starší literatuře se pohybuje až u 40 % a v novější literatuře do 25 % užitečného výkonu motoru na klikovém hřídeli. I když jsou v praxi používány metody pro zjištění ztrát, například decelerace motoru, korekční výpočty na prokluz apod., tak je stanovení výkonových parametrů na klikovém hřídeli zatíženo značnou chybou, což dokládají také experimenty, které provádí odborná periodika [9].

2.7.2 *Dynamická metoda*

Proti statickým metodám měření, kdy jsou výkonové parametry spalovacího motoru měřeny při ustálených otáčkách a zatížení, tak jsou v případě dynamických metod měřeny při dynamických režimech motoru, jako je urychlování (akcelerace) a zpomalování (decelerace) jeho setrvačných hmot. Motor je tedy zatížen svou

setrvačnou hmotností, kterou urychluje. Velikost zatížení není dána absolutní hodnotou momentu setrvačnosti, ale polohou palivového pedálu. Měřený motor zpravidla urychluje setrvačné hmoty s plnou dodávkou paliva. Ve výsledku není rozdíl v tom, zda při jízdě na vozovce jsou setrvačné hmoty vztaženy k celému vozidlu nebo při urychlování samotného motoru (volná akcelerace), kdy setrvačné hmoty odpovídají jeho pohybujícím se součástkám. Změní se pouze poměr velikosti zrychlení a setrvačné hmoty, které jsou spolu v nepřímé úměře. Na základě takto naměřených průběhů výkonových parametrů na otáčkách motoru lze sestavit dynamickou charakteristiku motoru, která je obdobná s vnější otáčkovou charakteristikou motoru měřenou na zkušebním stanovišti za statických podmínek, ale nelze je ztotožňovat, přestože mezi oběma druhy charakteristik nebývají výrazné rozdíly. Během dynamického procesu totiž dochází k situaci, že při rozběhu motoru si neodpovídají podmínky spalování s podmínkami přípravy spalování, protože dochází k fázovému posunu charakteristik, který je způsobený setrvačností pracovního cyklu. V široké praxi jsou relativně často upřednostňovány statické měření na zkušebních stanovištích, i když se ve skutečném provozu tyto případy nevyskytují příliš často, ale spíše se jedná o dynamické režimy práce motoru (doba akcelerace mezi různými rychlostmi), které mají svůj význam především v otázce bezpečnosti předjíždění a plynulosti provozu. Statické charakteristiky mají význam při posuzování vozidel v provozu na dálnicích a silnicích pro motorová vozidla [9].

2.7.2.1 Dynamická zkouška na válcové zkušebně

Pro měření výkonových parametrů dynamickým způsobem na válcových zkušebnách se využívá jejich setrvačnickové provedení, které je původně pro kontrolu rychloměrů a tachografů, přezkoušení termostatů, teploměrů, činnosti spojky, řazení převodů, lokalizace hluků apod. Zařízení je vybaveno válci, které jsou poháněny hnacími koly vozidla a v režimu akcelerace se k nim pro zvýšení setrvačnosti připojují setrvačníky. Aby skutečné podmínky na pozemních komunikacích byly adekvátní s měřicími podmínkami, tak je zapotřebí přesně tak velkých setrvačnicků jako je setrvačná hmota vozidla. V praxi se to řeší kombinací zapojování různých setrvačnicků nebo pomocí vzduchových a hydraulických brzd. Měření výkonu a točivého momentu motoru je obvykle u tohoto typu zkušebny řešeno pomocí vloženého členu mezi rotující válec a

poháněný setrvačnick. Vloženým členem může být momentový převod nebo torzní dynamometr. V současné době jsou původní méně přesné analogové zapisovače nahrazeny digitálním vyhodnocením. Nejmodernější zařízení umožňují měření statické i dynamické. Bohužel jsou mnohdy ještě v současné době dynamické metody měření brány jako pouze pomocné a orientační, i když konstrukce setrvačnickové válcové zkušebny je jednodušší a také řádově levnější, čímž by našly uplatnění v běžných servisních střediscích nejen k orientačním zkouškám, ale k plnohodnotným zkouškám výkonových parametrů motoru[9].

Obr. 20: Válcová zkušebna pro motocykly



Zdroj: <http://www.land-and-sea.com/motorcycle-dyno/motorcycle-dyno.htm>

2.7.2.2 Metoda měření volné akcelerace

Měření výkonových parametrů pomocí volné akcelerace vnější silou nezátíženého motoru je známo již několik desetiletí, ale bez objektivní podstaty. Pouze záleželo na subjektivních zkušenostech mechanika, který měření prováděl. S rozvojem techniky se postupně přešlo z méně přesných analogových přístrojů na digitální elektroniku a výpočetní techniku, která již je objektivní. Výhodou této metody vůči výše popsaným metodám měření výkonu a točivého momentu motoru je vysoká přesnost a opakovatelnost, protože jako jediná z metod není ovlivněna ztrátami a hysterezí jako je tomu u statických měření. Přesnost měření na volných válcích je ovlivněna pouze přesností měření času, za který se pootočí klikový hřídel motoru o určitý úhel. Měření úhlového zrychlení a úhlové rychlosti klikového hřídele motoru s dostatečnou

přesností na μ s je poměrně snadnou záležitostí. Problematické je stanovení momentu setrvačnosti motoru. První možností jak získat moment setrvačnosti motoru je informace od výrobce, který dodá přesnou hodnotu momentu setrvačnosti přímo s motorem vozidla. Tento způsob je velmi jednoduchý, ale v praxi se vyskytuje pouze ojediněle. Druhou možností je změřit nové vozidlo a moment setrvačnosti vypočítat zpětně z naměřeného točivého momentu. Možností třetí je měřit dostatečné množství vozidel a sledovat průběh točivého momentu. V případě, že překračuje výrobcem udávanou hodnotu, pro motor bez jakýchkoliv úprav, je hodnota momentu setrvačnosti snížena. Toto se opakuje, až se získá poměrně přesný moment setrvačnosti, který se blíží hodnotě skutečné. Čtvrtou možností je změřit motor s přívažkem o známé velikosti a moment setrvačnosti dopočítat. Z hlediska provozu motoru lze moment setrvačnosti považovat za konstantní, jelikož se téměř nemění. Případná chyba v nastavení momentu setrvačnosti je při měření významná, ale je chybou systematickou a nemá tedy náhodný vliv na přesnost vlastního měření. Kromě stanovení momentu setrvačnosti motoru je zde problém s parametry plnicího vzduchu. Jde především o motory s turbodmychadlem a motory, které mají proměnnou délku sacího potrubí. Zpoždění turbodmychadla je dané vlastním principem jeho práce a v závislosti na vyspělosti konstrukce je ovlivněna jeho velikost. Přesto i u moderních motorů se téměř v celém rozsahu během měření při volné akceleraci naměří hodnoty výkonových parametrů, které by odpovídaly atmosféricky plněnému motoru. Kromě uvedených nedostatků, které jsou podstatné, má metoda měření na volných válcích také celou řadu předností. Kromě toho, že je zaručena velmi vysoká opakovatelnost, měření je toto měření prováděno bez demontáže motoru a dalších významných technických zásahů. Významnou výhodou je také neomezený rozsah výkonově různých strojů, které jsou měřeny se stejnou přesností jediným přístrojem. Nespornou výhodou jsou také nízké pořizovací náklady proti klasickým metodám měření [21].

2.8 Měření na válcové zkušebně

Při běžném provozu vozidla (i motocyklu) musí překonat jízdní odpory. Jízdní odpory jsou síly, které působí proti pohybu motocyklu. Některé jízdní odpory působí vždy proti pohybu vozidla (odpor vzdušný a odpor valivý). Při zrychlování musí vozidlo (motocykl) překonávat odpor zrychlení a při jízdě do svahu odpor stoupání.

Při měření na válcové zkušebně musí motor při dynamické zkoušce překonat moment pro zrychlení rotujících částí motoru, primárního převodu, spojky, převodovky, sekundárního převodu a rotujícího kola. Kolo teprve roztáčí válec o známém momentu setrvačnosti.

Valivý odpor

Mezi kolem a válcem je valivý odpor, který vzniká deformací pneumatiky. Pneumatika se stýká s válcem v určité stopě. V přední části stopy, ve směru valení, dochází ke stlačování obvodu pneumatiky a v zadní části se obvod opět vyrovnává do kruhového tvaru. Vlivem ztrát v pneumatice, které se mění v teplo, jsou síly potřebné ke stlačení pneumatiky větší, než síly kterými působí pneumatika na válec při navrácení do kruhového tvaru (hystereze). Na obr. 21 je znázorněna deformace pneumatiky na válcové zkušebně

Výpočet valivého odporu kola:

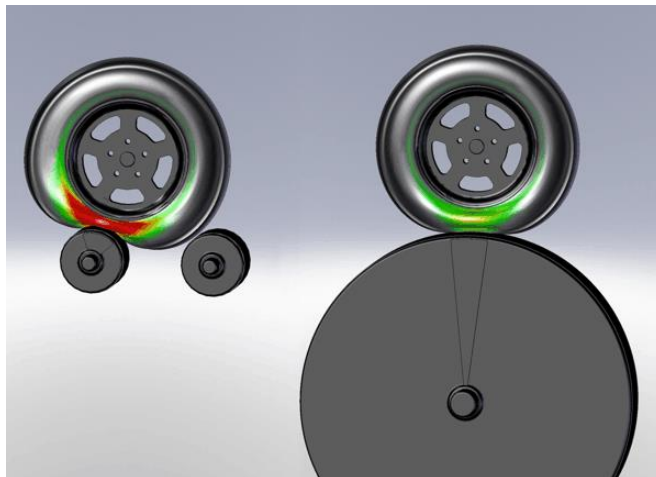
$$O_{fK} = Z_K \cdot f_k \quad (\text{N}) \quad (26)$$

Kde:

Z_k reakce vozovky (N)

f_k součinitel valivého odporu kola (-).

Obr. 21: Porovnání deformace s kolem na válcové zkušebně



Zdroj: <http://www.land-and-sea.com/motorcycle-dyno/motorcycle-dyno.htm>

Účinnost přenosu výkonu na válec

Celková účinnost převodového ústrojí je dána součinem účinností jednotlivých převodů:

- Primární převod
- Převodovka
- Sekundární převod
- Převod kolo-válec

2.8.1 Příprava měření

Před měřením je nutné motocykl zkontrolovat, zda je v bezvadném technickém stavu. Zejména stav zadní pneumatiky (tlak, opotřebení) a sekundárního převodu (řemen, řetěz, kardan). Vzhledem k tomu, že na stolici nepřekonáváme odpor vzduchu, tak běžně dosahujeme větších rychlostí na nejvyšší rychlostní stupeň, než v provozu

Motocykl musí být předepsaným způsobem zajištěn ve svislé poloze kurty proti pohybu, nejlépe za nosné části rámu, taky aby zatížení simulovalo provozní zátěž a nedocházelo k prokluzu zadního kola na válci. Popruhy se nikdy nesmí dotýkat ani přibližovat výfukovému potrubí. Volná část popruhu musí být zajištěn proti pohybu.

U motocyklů s velkými zdvihy pružení, je vhodné stáhnout i přední pružiny, aby nedocházelo vlivem tlačení od zadního kola k pohybu směrem dolů (obr. 22). Tím by se měnil i zadní přítlak na válec vyvinutý zadním úvazem.

Obr. 22: Uchycení motocyklu



Zdroj: <http://www.land-and-sea.com/motorcycle-dyno/motorcycle-dyno.htm>

Přední kolo musí být staženo popruhem v posuvné části rámu tak, aby osa zadního kola byla předsunuta před osu válce o 20-30 mm (obr. 23).

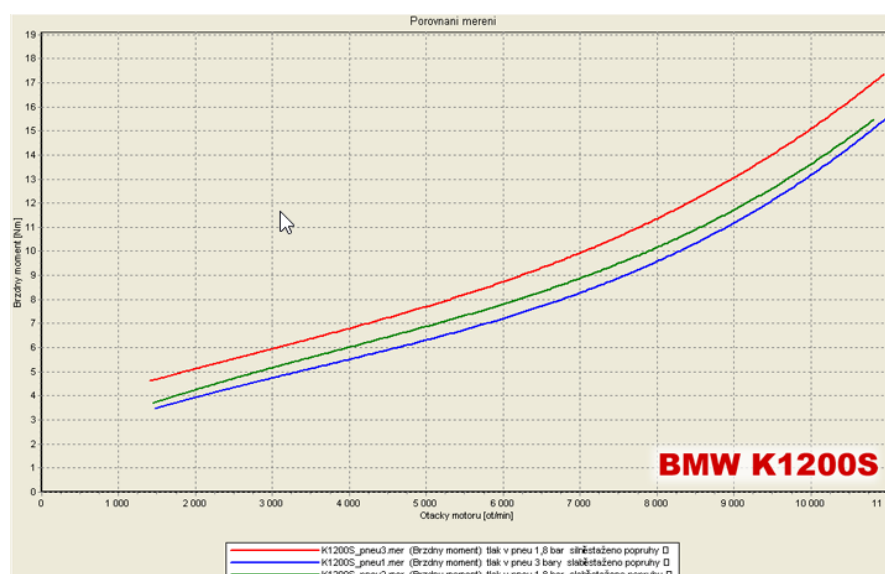
Obr. 23: Poloha zadního kola na válci



Zdroj: <http://www.diag4bike.cz/data/bezpecnostni-pokyny-spb-2-eu-cz.pdf>

Důležitá je kontrola tlaku vzduchu v zadní pneumatice. Před měřením zkontrolujeme, zda je tlak na hodnotě předepsané výrobcem motocyklu. S klesajícím tlakem stoupá valivý odpor. Na obr. 24 je závislost brzdného momentu na tlaku a rychlosti.

Obr. 24: Valivý odpor



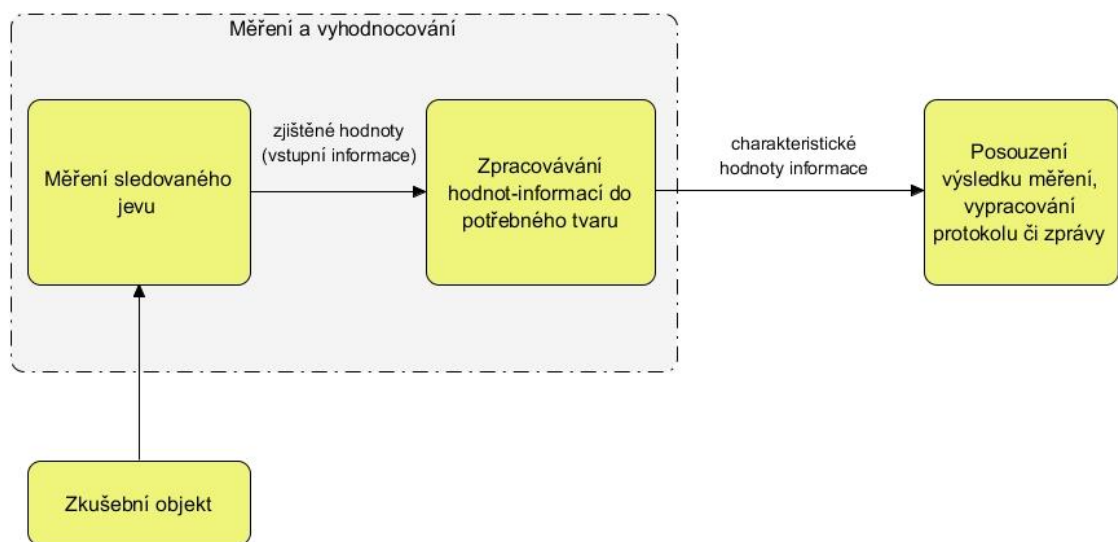
Zdroj: <http://www.motocom.cz/mereni2.htm>

Rozdílnost v brzdných momentech pro různé tlaky v pneumatikách a různé přitažení motocyklu k rámu dynamometru

2.9 Vyhodnocení (zpracování) měření dat

Blokové schéma vlastního zkušebního procesu je na obr. 25. První a druhý blok tvoří měření a vyhodnocování sledovaného jevu. (nebo jevů) a na výstupu vyhodnocovacího bloku, jsou charakteristické informace, které jsou podkladem pro vypracování závěrečné zprávy (protokolu měření) blok. Skladba řetězce platí obecně, může však zahrnovat větší podíl osob, přístrojů a zázemí. Například jednoduché měření rozměrů vozidla (pásmem) zahrnuje v bloku odměření a odečtení hodnot v bloku jsou pouze vypočteny průměrné hodnoty a vyneseny (manuálně do tabulky) [13].

Obr. 25: Blokové schéma zkušebního procesu



Zdroj: VLK, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel, Nakladatelství a vydavatelství vlk, Brno, 2001, ISBN 80-238-6573-0

2.9.1 Proces měření

Obdobně jako v jiných odvětvích strojírenství se používá elektrické a elektronické měření neelektrických veličin. Elektrické snímače neelektrických veličin umožňují nepřetržité měření různých parametrů a také jejich záznam.

Dále budou stručně vysvětleny některé obecné souvislosti.

Snímač (senzor neboli také čidlo) je prvek, který provádí přeměnu měřené neelektrické veličiny na veličinu elektrickou. Snímače lze dělit na pasivní a aktivní. U **pasivního snímače** se měřená neelektrická veličina přeměňuje na elektrické veličiny, jakou je např.: změna odporu, indukčnosti nebo kapacity. K jejich provozu je vždy nutný pomocný zdroj elektrické energie. Pasivní snímače jsou odporové, indukční, kapacitní, ionizační, fotoelektrické a elektrochemické. Naopak u **aktivních snímačů** má změna měřené neelektrické veličiny za následek vzniknutí elektrické energie (vznikne elektromotorická síla). Aktivní snímače termoelektrické, indukční a piezoelektrické.

Snímače používané při měření různých fyzikálních veličin, dávají na výstupu obvykle elektrický signál, úměrný některé z určujících veličin naměřené fyzikální veličiny. Tento elektrický signál nebývá však často ve vhodném tvaru, aby byl přímo použitelný pro indikaci nebo záznam naměřených hodnot, popř. k jejich dalšímu zpracování.

Signál ze snímače bývá přiváděn do vyhodnocovaného obvodu, který může být analogový, analogově- číslicový nebo číslicový. To záleží na měřeném signálu ze snímače, metodě zpracování tohoto signálu a na způsobu indikace či záznamu, popř. jeho napojení na další zařízení. Analogová technika se od číslicové odlišuje ve způsobu zacházení s informací (veličinou, která je předmětem zpracování) ve vztahu k měřenému signálu (fyzikální veličině, která je nositelem informace).

V analogové technice je informace vzájemně přiřazena ke všem velikostem měřeného signálu v určitém rozsahu. Analogové vyhodnocovací obvody zahrnují zesilovače (lineární, rozdílové, sumační, derivační, integrační, logaritmické a násobící), oscilátory (amplitudové nebo kmitočtové modulátory a demodulátory) a napájecí obvody (usměrňování střídavého napětí na stejnosměrné, stabilizace proudu a napětí).

V číslicové technice je informace přiřazena pouze některým vzájemně odlišných velikostem měřeného signálu nebo jeho dílčím rozsahům. Určitému dílčímu rozsahu velikosti měřeného signálu je přiřazena pouze jediná informace. Číslicové vyhodnocovací obvody zahrnují klopné obvody (bistabilní, astabilní a monostabilní), čítače posuvné registry, kódy a převodníky kódů.

3 Přehled zkušeben válcových zkušeben

V této kapitole jsou popsány zkušebny používané měření výkonu, diagnostice, a upravování palivových map (tuningu). Všechny zkušebny jsou monoválcového typu. Rozdíly jsou v hlavně v použitých retardérech, příslušenství a dodávaném softwaru. U každé představené je tabulka s technickými parametry, které výrobce uvádí v technické specifikaci.

3.1.1 Land and Sea

Základní model válcové zkušebny pro motocykl neobsahuje brzdu a je zobrazen na obr. 26. Na tomto typu je možné provádět pouze dynamické zkoušky. Nejmenší s průměrem setrvačníku 13" je určen k měření skútrů s výkonem do 100 HP a maximální rychlosti do 160 km/h. Největší model s 30" setrvačnickem umožňuje měření výkonu do 650 HP a rychlosti do 400 km/h. Standartní šířka válce je 25", možnost rozšíření na 50" pro měření čtyřkolek. Hmotnost celého zařízení je v rozmezí od 800 do 1300 liber.

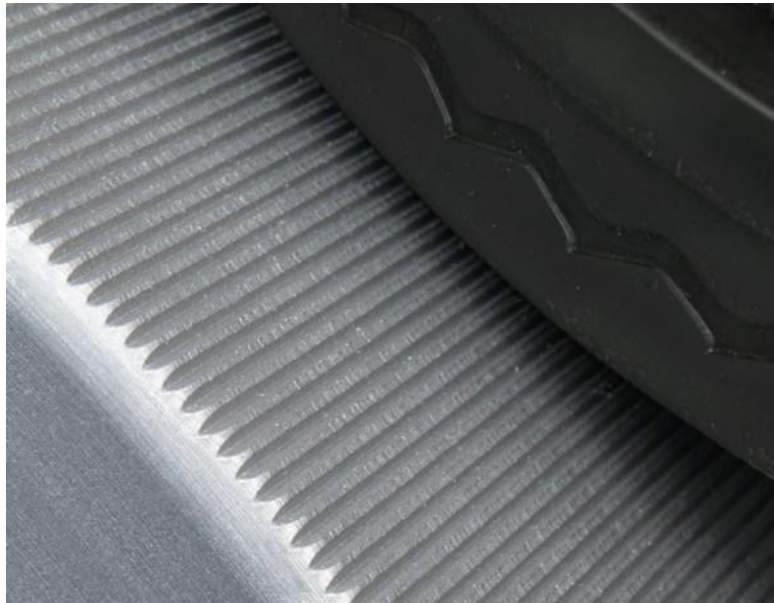
Obr. 26: Válcová zkušebna základní model



Zdroj: <http://www.land-and-sea.com/motorcycle-dyno/motorcycle-dyno.htm>

Protiskluzová úprava válce je provedena drážkami kolmými ke směru pohybu obr. 27.

Obr. 27: Detail protiskluzové úpravy povrchu válce



Zdroj: <http://www.land-and-sea.com/motorcycle-dyno/motorcycle-dyno.htm>

Technické parametry válcové zkušebny

Převod točivého momentu je realizován přes S-tenzometr. Udávaná přesnost měření točivého momentu 1% v celém rozsahu otáček.

Základní model lze vybavit dynamometrem s vířivými proudy nebo vodní brzdou pro možnost měření statickou metodou.

Pro komfort obsluhy je možné přikoupit automatický systém upínání přední pneumatiky, nebo elektrický posuv pro nastavení rozvoru.

Tab. 2: Technické parametry zkušebny Land and Sea

technické parametry	Land and Sea- 800-Lite MC Inertia Dyno
průměr válce (mm)	406
šířka válce (mm)	635
hmotnost setrvačnicku (kg)	250
moment setrvačnosti (kg·m ²)	neuveдено
maximální rychlost (km·h ⁻¹)	320
maximální výkon (kW)	295
hmotnost válcové zkušebny (kg)	590

Zdroj: vlastní zpracování ze stránek www.land-and-sea.com

Sběr dat

Vzorkování řízeno krystalem s frekvencí 1000 Hz. Analyzátor výfukových plynů s rozhraním RS-232, Termočlánky pro měření výfukových plynů, senzor pro měření teploty motoru. Zařízení pro záznam teploty vzduchu, vlhkosti a barometrického tlaku. Výfuková lambda sonda. Průtokoměr paliva, atd.

3.1.2 Dynojet

Dynojet Research Inc. je nejrozšířenějším výrobcem automobilových a motocyklových zkušeben na světě. Společnost byla založena roku 1972 v USA.

V současné době má společnost v nabídce 4 zkušebny pro motocykly, z toho dva jsou vhodné i pro měření čtyřkolek. Zkušebnu je možno vybavit vířivou brzdou.

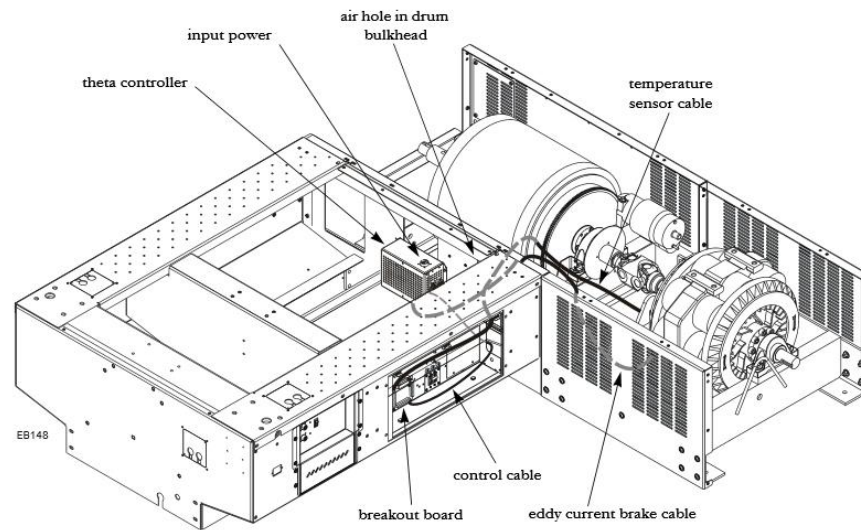
Tab. 3: Technické parametry Dynojet-200i

technické parametry	Dynojet-200i
průměr válce (mm)	457
šířka válce (mm)	416
hmotnost setrvačníku (kg)	neuvedeno
moment setrvačnosti (kg·m ²)	neuvedeno
maximální rychlost (km·h ⁻¹)	322
maximální výkon (kW)	551
hmotnost válcové zkušebny (kg)	725

Zdroj: vlastní zpracování ze stránek dynojet.com

Hmotnost válcové zkušebny je 725 kg, model s vířivou brzdou, která je uvedena na obr. 28 váží 771 kg.

Obr. 28: Dynojet – uspořádání válce a vířivé brzdy



Zdroj: <http://www.dynojet.com/Products/Dynamometers/DynoModel200i/Dynojet-dynamometer-200i.aspx>

3.1.3 Diag4Bike

Tyto válcové zkušebny jsou vyvíjeny firmou ACTIA CZ s.r.o. Válcové zkušebny jsou vybaveny vířivou brzdou. Základ vychází z válcové zkušebny MotoCOM, která je vybavena vlastní měřicí technikou.

Zajímavým řešením je převodovka, přes kterou je přenášen výkon na zabudovaný ventilátor, který simuluje odpor vzduchu a zároveň slouží k náporovému chlazení. Technické parametry válcové zkušebny Diag4Bike (obr. 29) jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4: Technické parametry zkušebny Diag4Bike

technické parametry	Diag4Bike- SMART POWER BENCH 2
průměr válce (mm)	450
šířka válce (mm)	400
hmotnost setrvačnicku (kg)	neuveдено
moment setrvačnosti (kg·m ²)	14,832
maximální rychlost (km·h ⁻¹)	250
maximální výkon (kW)	250
hmotnost válcové zkušebny (kg)	550

Zdroj: vlastní zpracování ze stránek www.diag4bike.cz

Ventilátor na první převodový stupeň odebírá:

10 kW při 100 km/h , 30 kW při 150 km/h, 70 kW při 200 km/h

Na druhý rychlostní stupeň ventilátor brzdí výkonem:

10 kW při 50 km/h , 30 kW při 75 km/h, 70 kW při 100 km/h

Maximální rychlost jízdy na 1. převod je omezena 250 km/h, na 2. převod ventilátoru do 100 km/h.

Obr. 29: Válcová zkušebna Diag4bike



Zdroj: vlastní fotografie

Válcová zkušebna je vybavena kontrolou teploty pneumatiky a jejím chlazením. Na obr. 30 je šipkou zvýrazněn IR senzor zabudovaný ve výdechu chlazení zadní pneumatiky. Při běžné dynamické zkoušce není nutné pneumatiku ochlazovat, tento dynamometr slouží i pro úpravu palivových map.

Obr. 30: Detail měření a chlazení zadní pneumatiky



Zdroj: <http://www.diag4bike.cz/hd/tuning-motoru/smart-power-bench.html>

3.1.4 MotoCOMTest

V nabídce společnosti je jedna válcová zkušebna pro měření výkonu motocyklů. Válcovou zkušebnu je možné doplnit o vodou chlazený retardér. Konkrétně vířivou brzdou zabudovanou dovnitř válce. Společnost zaměřuje na návrh a stavbu dynamometrů dle technického přání zákazníka. Na dynamometru této společnosti byla provedena dynamická zkouška, která je součástí této diplomové práce.

Tab. 5: Technické parametry MotoCOMTest

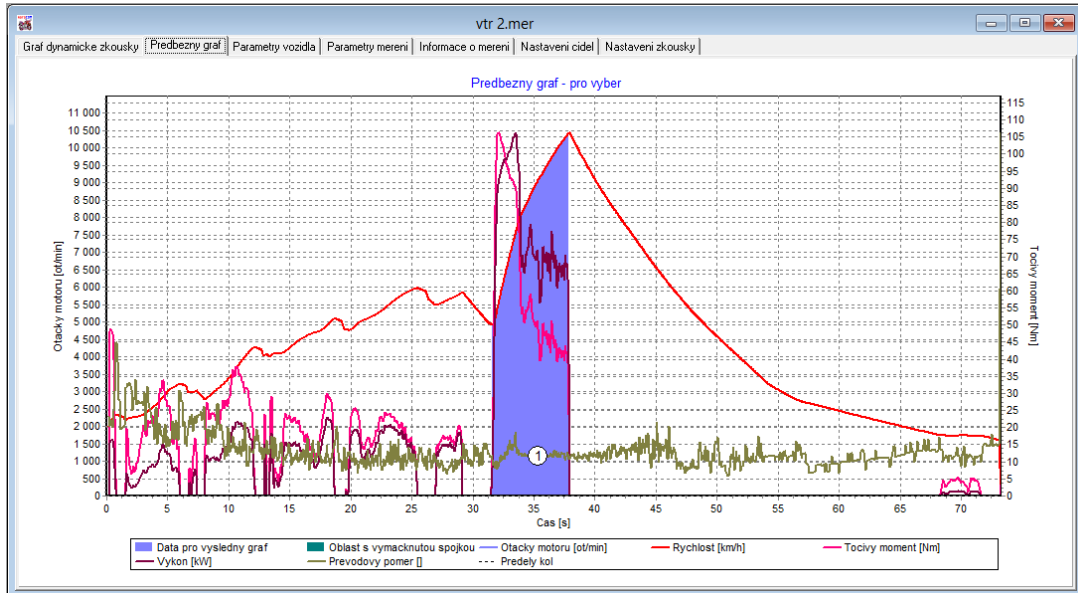
technické parametry	MotoCOM-BR 250
průměr válce (mm)	415
šířka válce (mm)	400
hmotnost setrvačníku (kg)	200
moment setrvačnosti (kg·m ²)	6,57
maximální rychlost (km·h ⁻¹)	330
maximální výkon (kW)	250
hmotnost válcové zkušebny (kg)	500

Zdroj: vlastní zpracování ze stránek www.motocom.cz

Průběh dynamické zkoušky z programu MotoCOMTest je zobrazen na grafu 1.

Software MotoCOMTest umožňuje vybrat oblast ze které se počítá otáčková charakteristika při dynamické zkoušce, v grafu 1 znázorněno modře.

Graf 1: Průběh měření dynamické zkoušky z programu MotoCOMTest



Zdroj: výstup z programu MotoCOMTest

4 Numerické zpracování naměřených dat

V této diplomové práci byly použity 3 základní přístupy k měření dat – regresní analýza (volba trendových funkcí), klouzavé průměry (v prosté i vážené formě) a exponenciální vyrovnávání [30].

4.1 Regresní analýza

Obecným cílem regresní analýzy je přispět k poznání příčinných vztahů mezi naměřenými znaky. Hlavním úkolem regresní analýzy je matematický popis systematických okolností, které provázejí statistické závislosti. Konkrétním příkladem může být zobrazení průběhu vývoje podmíněných průměrů vysvětlované proměnné (y) v důsledku systematických změn hodnot jedné či většího počtu vysvětlujících proměnných ($x_1, x_2 \dots x_n$). Nejčastěji cíl této analýzy je nalezení „ideální“ matematické funkce, která co nejlépe vyjadřuje charakter závislosti a co nejvěrněji zobrazuje průběh změn podmíněných průměrů závisle proměnné. Tato matematická funkce je obecně nazývána regresní funkce [31].

Určení parametrů zvolené regresní funkce

Nejprve je vždy důležité rozlišit teoretickou a empirickou regresní funkci. Teoretická regresní funkce je nepozorovatelná (nezměřitelná) a empirická regresní funkce je vypočítaná na základě empirických údajů. Empirickou regresní funkci lze považovat za model tzv. teoretické regresní funkce. Pokud lze pokládat teoretickou regresní funkci za model průběhu proměnné y při systematických změnách vysvětlující proměnné x (popřípadě proměnných x), pak empirickou regresní funkci je možné považovat za odhad modelu na základě získaných pozorování. [31].

Metoda nejmenších čtverců

Bodové odhady parametrů regresní funkce $y = \alpha + \beta \cdot x_i$ se z pozorovaných dat nejčastěji získávají metodou nejmenších čtverců. Tato metoda je postavená na požadavku, aby součet čtverců odchylek pozorovaných hodnot $y_1, y_2, y_3 \dots y_n$ veličiny Y od odhadové regresní funkce byl minimální. Tato metoda se počítá pomocí soustavy normálních rovnic [31].

Základní trendové funkce (matematické křivky), kterou budou použity k popisu trendu:

Kvadratická funkce

$$y' = a + bx_i + cx_i^2 \quad (-) \quad (27)$$

$$n \cdot a + b \sum x_i + c \sum x_i^2 = \sum y_i$$

$$a \cdot \sum x_i + b \sum x_i^2 + c \sum x_i^3 = \sum x_i y_i$$

$$a \cdot \sum x_i^2 + b \sum x_i^3 + c \sum x_i^4 = \sum x_i^2 y_i$$

Polynomická funkce

$$y' = a + bx_i + cx_i^2 + \dots + mx_i^n \quad (-) \quad (28)$$

$$\sum y_i = n \cdot a + b \sum x_i + m \sum x_i^n$$

$$\sum x_i y_i = a \cdot \sum x_i + b \sum x_i^2 + m \sum x_i^{n+1}$$

.....

$$\sum x_i y_i^n = a \cdot \sum x_i^n + b \sum x_i^{n+1} + \dots + m \sum x_i^{2n}$$

Korelační analýza

Při analýze vztahu dvou (i více) proměnných x a y se užívá pro stanovení míry stupně lineární závislosti - korelační koeficient. Pokud je korelační koeficient výrazně nenulový, pak se proměnné x a y chápou, jako korelované v tom smyslu, že je mezi nimi určitý náznak symetrického lineárního vztahu [30].

Vzorce na výpočet korelačního koeficientu:

$$r_{yx} = r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \cdot [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (-) \quad (29)$$

4.2 Klouzavé průměry

Metoda klouzavých průměrů vychází z toho, že celá časová řada je vyrovnána najednou, tj. vyrovnají se jednou funkcí všechna empirická pozorování, které jsou k dispozici. Podstata vyrovnávání pomocí klouzavých průměrů spočívá pouze v tom, že posloupnost empirických hodnot je nahrazena průměrem vypočítaným z těchto hodnot (pozorování). Každá z těchto nově vzniklých hodnot (průměr) reprezentuje určitou skupinu pozorování. Název klouzavý průměr vznikl z toho, že při posloupném výpočtu průměrů je postupováno „klouzáním“ vždy o jedno pozorování dále, přičemž je nejstarší (první hodnota) pozorování z průměrované skupiny vypuštěno.

Volba vhodné délky klouzavé části období je obtížná a není možné ji stanovit exaktně. Při její volbě je nutné postupovat heuristicky (dle věcné analýzy zkoumaného jevu). V praxi se volí většinou klouzavé části menších délek např. 5, 7, 9. Aplikace klouzavých průměrů s sebou nese nepříjemnou vlastnost. Nová křivka klouzavých průměrů je vždy kratší než původní řada. Je-li délka klouzavých průměrů $2m+1$, ztrácí se vyrovnáním m hodnot na začátku, které zůstanou nevyrovnané, a rovněž m nevyrovnaných hodnot na konci časové řady [31].

$$y_t^{(2m+1)} = \frac{1}{2m+1} \cdot (y_{t-m} + y_{t-m+1} + \dots + y_{t+m}) \quad (-) \quad (30)$$

Kde:

m definuje délku klouzavého průměru, tak aby byl vždy průměr z lichého počtu dat (n).

Klouzavé průměry lze dělit na prosté a vážené.

4.2.1 Prosté klouzavé průměry

Celý princip prostých klouzavých průměrů je založen na myšlence nahradit vždy příslušnou klouzavou část jedním číslem - průměrem, stačí se tedy omezit při řešení normálních rovnic na odhad parametru a , který představuje odhad trendové funkce, příslušející střednímu bodu dané klouzavé části.

4.2.2 Vážené klouzavé průměry

Princip vážených průměrů je ve své podstatě totožný jako u průměrů prostých, avšak při výpočtu vážených klouzavých průměrů je nutné navíc přiřadit vždy průměrované skupině odpovídající váhu (např. dle času, počtu otáček k určitému okamžiku, počtu charakteristik apod.) [31].

Pro přiřazenou váhu musí vždy platit toto: váhy jsou symetrické kolem střední hodnoty, součet vah je vždy roven jedné, a pokud je r sudé číslo (řád polynomu použitého pro vyrovnání), pak klouzavé průměry řádu r a řádu $r+1$ se stejnou délkou $2m+1$ jsou totožné [31].

$$y_t = \frac{1}{G} \sum_{i=-p}^p w_i \cdot y_{t,i} \quad (-) \quad (31)$$

4.3 Exponenciální vyrovnávání

Při modelování reálných časových řad se velice často stává, že během analýzy zvoleného období se hodnoty strukturálních parametrů modelu v čase změni, případně může docházet i ke změnám analytického tvaru modelu. Tyto důvody jsou podnětem pro konstrukce adaptivních modelů. Adaptivní modely se od klasických liší tak, že nepředpokládají stabilitu analytického tvaru trendové funkce. Do třídy adaptivních modelů patří modely exponenciálního vyrovnávání [32].

Při aplikaci této metody je vyrovnání hodnoty v časovém bodě založeno na všech dostupných minulých hodnotách. Pro odhad parametrů se používá vážená metoda nejmenších čtverců, kdy váhy exponenciálně klesají směrem do minulosti. Z tohoto tvrzení vyplývá, že při vyrovnávání hodnoty časové řady v daném bodě hraje největší a

také nejdůležitější roli pozorování právě v tomto bodě. O něco menší roli sehraává minulé pozorování, které má i tím pádem i menší váhu. Vliv pozorování na hodnotě v daném bodě postupně více a více slábne. Oproti tomu, pokud bude hodnota α malá (bude se blížit 0), bude vliv minulých pozorování slábnout velmi rychle. Tedy pokud bude hodnota α blízká jedné, bude vliv minulých pozorování slábnout volněji. Je tedy patrné, že volba vhodné vyrovnávací konstanty bude sehraávat v této metodě podstatnou roli. Z hlediska použité vyrovnávací křivky lze členit exponenciální vyrovnávání na jednoduché, dvojí a trojitě [31].

Před aplikací samotného exponenciálního vyrovnávání bývá v některých případech nejprve odhadnut trend a poté bývá časová řada o daný trend očištěna (např.: na základě vypočítaných trendových funkcí, či očištění pomocí diferencí, apod.).

Typy exponenciálního vyrovnávání:

- a) **jednoduché exponenciální vyrovnávání** - lze reálně předpokládat, že v průběhu časové řady existují krátká období, v nichž lze trend považovat za konstantní.

Jednoduché exponenciální vyrovnávání lze zapsat takto: $T_t = \beta_0$

U jednoduchého exponenciálního vyrovnávání se nejprve určuje váha Alfy pomocí mřížkového hledání, jelikož Alfa zastupuje úroveň. [33]

- b) **dvojitě exponenciální vyrovnávání** - lze předpokládat, že v krátkých úsecích řady je trendová složka lineární.

Dvojitě exponenciální vyrovnávání lze zapsat takto: $T_t = \beta_0 + \beta_1 t$

U dvojitě exponenciálního vyrovnávání - se nejprve hledá optimální poměr vah Alfy a Gamy. Alfa se určuje pro úroveň a Gama má význam pro směrnici [33].

- c) **trojitě exponenciální vyrovnávání** - lze předpokládat, že v krátkých úsecích řady je trend modelován kvadratickou funkcí.

Trojité exponenciální vyrovnávání lze zapsat takto: $T_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2$

U trojitého exponenciálního vyrovnávání se nejprve hledá pomocí mřížkového hledání optimální poměr vah Alfa, Gama a Fi. Alfa se určuje pro úroveň a Gama a Fi mají význam pro směrnici (Fi je kvadratickým členem) [33].

5 Cíl

Cílem této diplomové práce bylo na vhodně zvolených příkladech analyzovat běžně užívané metody měření výkonových parametrů motocyklů s důrazem na provedení zkušeben, softwaru zkušeben a na způsobu zpracování měřených dat – se zaměřením na vyhlazení dat pomocí matematicko-statistických metod – pomocí klouzavých průměrů (ve formě prosté i vážené) a exponenciálního vyrovnávání. Cílem vlastní části bylo nalézt nejvhodnější metodu, kterou lze upravit měřená data, tak aby byla vhodná k sestrojení otáčkové charakteristiky motoru.

6 Metodika

V této diplomové práci bylo postupováno následujícím způsobem. Měření byla prováděna na válcové zkušebně MotoCOMTest. Jako testovací motocykl byl použit Suzuki GS 500 E, rok výroby 1992. Motor je poháněn čtyřdobým řadovým dvouválcem. Jedná se o vzduchem chlazený motor o zdvihovém objemu 487 cm³. Udávaný výkon je 33 kW při otáčkách 9000 min⁻¹. Točivý moment motoru je udáván 40 Nm při otáčkách 7400 min⁻¹. Kompresní poměr je 9:1 a přípravu směsi zajišťují dva karburátory Mikuni. Převodová skříň má 6 rychlostí. Předpokládaný naměřený výkon je očekáván nižší, jelikož výkon měříme pouze na kole. Zároveň je přihlédnuto k technickému stavu zkoušeného motocyklu.

Samotná zkouška probíhala takto: po zahřátí motoru následovalo upevnění motocyklu do válcové zkušebny. Poté byl zkontrolován tlak vzduch v pneumatice a motocykl byl osazen snímačem otáček indukčními kleštěmi. Chlazení motoru bylo zajištěno velkoobjemovým ventilátorem. Na válcové zkušebně byla provedena zkušební jízda, při které se zahřála pneumatika, a zkontrolovalo se usazení motocyklu. Po těchto přípravných fázích je možné přejít k samotnému měření. V počítači se pustí program MotoCOMTest a zkontrolujeme konektivitu k měřicí jednotce. Motocykl rozjedeme

postupným řazením, jako při běžné jízdě, až na nejvyšší převodový stupeň, při kterém bude probíhat dynamická zkouška. V této fázi se spustí zapisování měřených dat do měřící jednotky. Start zkoušky se provádí z otáček, ve kterých motor pracuje plynule (neboli motor je nepodtočený). V tento okamžik se skokově otevře pomocí akcelérátoru škrcení motoru. Tím začne motor vyvíjet maximální výkon po celou dobu akcelerace až do dosažení maximálních povolených otáček. Po jejich dosažení vymáčkneme ovládání spojky a necháme válec a kolo zpomalit. Po doběhu ukončíme měření dat. V programu MotoCOMTest data uložíme. Tímto je celá zkouška u konce. Software využívá data o doběhu k výpočtu ztrát a korekcí výkonu přepočtenou na výkon na motoru.

Po provedené zkoušce je potřeba naměřená data upravit. K úpravě byly použity regresní trendové funkce, klouzavé průměry a exponenciální vyrovnávání. Po použití těchto metod, byly sestaveny otáčkové charakteristiky motoru, které byly znázorněny v grafech.

7 Naměřená data

MotoCOMTest

Válcová zkušebna firmy MotoCOMTest je vybavena měřící jednotkou, postavenou jako rozšíření šestnáctibitového univerzálního procesorového modulu, dodávaného společností ELSACO Kolín. Nad procesorovou deskou je umístěna deska s ochrannými obvody, LC filtry, optoelektrickými oddělovači a diodami. Tyto obvody slouží pro přizpůsobení signálů a především jako ochrana před přepětím, přepólováním a napěťovými špičkami, které se mohou v průmyslovém prostředí naindukovat na vodičích.

Vlastní procesorový modul je osazen jednočipovým mikropočítačem Toshiba TMP95C265F, megabytem paměti a několika pomocnými obvody (viz blokové schéma na obr. 31).

Jednočipový mikropočítač obsahuje osm analogových vstupů se společným A/D převodníkem o rozlišení 10 bitů. Analogové vstupy jsou využity pro snímání pomocí senzorů, jako je například lambda sonda, tenzometr, teploměr atd.

Čidla otáček, využívající různých principů, jsou upravena tak, aby vracela digitální signál 0/5V. Ten je přiváděn na vyhrazené vstupy mikropočítače, kde přímo ovládá propisování hodnot ze stále běžících interních čítačů a zároveň způsobuje přerušení programu a spouštění obslužných rutin.

Všechny měřené veličiny jsou před vstupem do mikropočítače napěťově přizpůsobeny na rozsah 0-5 V a digitální vstupy a výstupy galvanicky odděleny pomocí optočlenů. Senzory jsou napájeny z měřicího modulu také přes ochranné obvody.

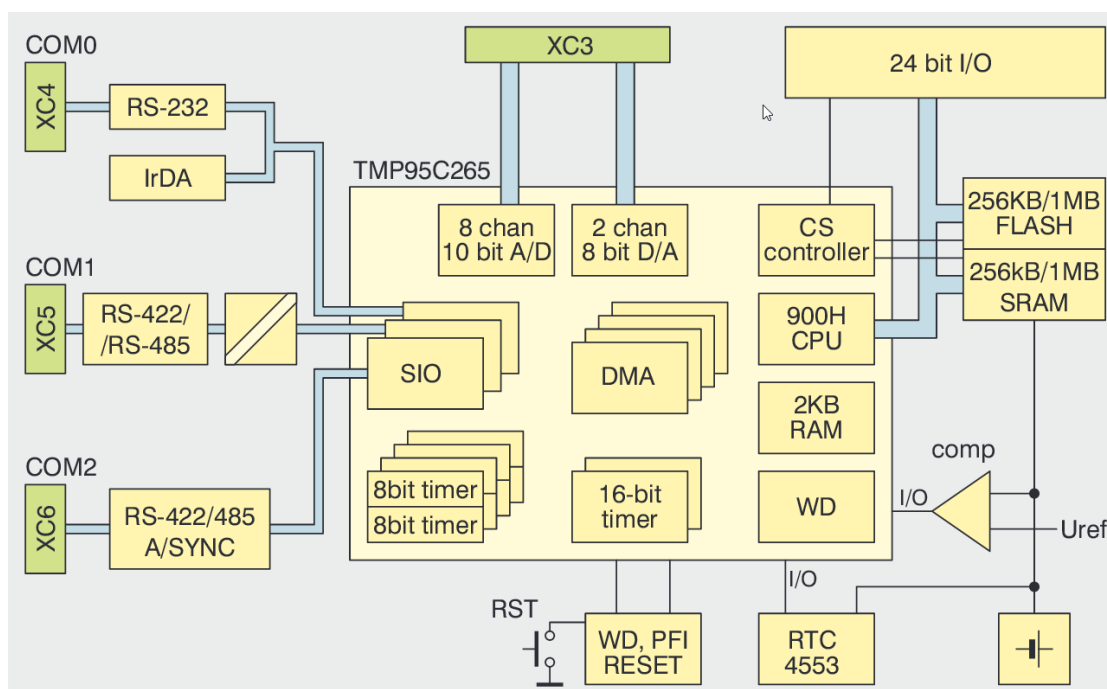
Deska má dva analogové výstupy, využívané k regulaci retardéru při statické metodě měření výkonu.

Pro komunikaci mezi PC a měřicí jednotkou je použit sériový kanál RS-232, případně jeho simulace na rozhraní USB.

Důležitým parametrem měření je odečítání času, pro tuto funkci se využívá zabudovaný krystal frekvencí 22 MHz. Výsledná frekvence je dána kmitočtem krystalu a interní děličkou.

Výsledná hodnota vzorkování je 687 000krát za vteřinu, z této hodnoty vychází přesnost odečítání času na 1,45 μ s.

Obr. 31: Blokové schéma modulu MCPU-01



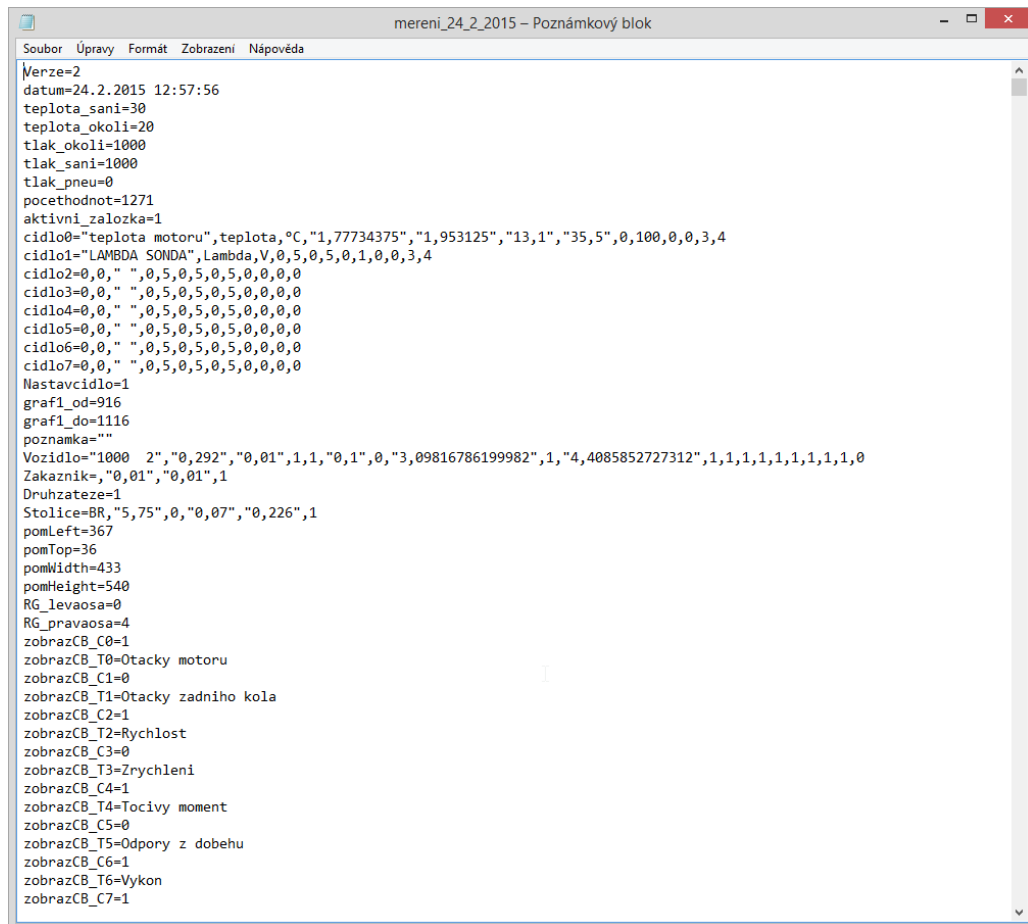
Zdroj: <http://www.elsaco.cz/download/pdf/mmcpu01.pdf>

Měřená data jsou přivedena na vstup s rozlišením 10 bitů A/D, například signál o hodnotě 0-3 V rozdělí na 1024 dílů, se kterými mikro počítač poté pracuje, Rozsah vstupních hodnot se nastavuje v programu.

7.1 Zpracování naměřených dat

Data naměřená na válcové zkušební Moto COM test jsou zaznamenávána do souboru s příponou ".mer" (obr. 32). Na začátku jsou zapsány datum, podmínky měření, druh zkoušky, aktivní senzory, převodový poměr atd.

Obr. 32: Ukázka záznamu naměřených dat

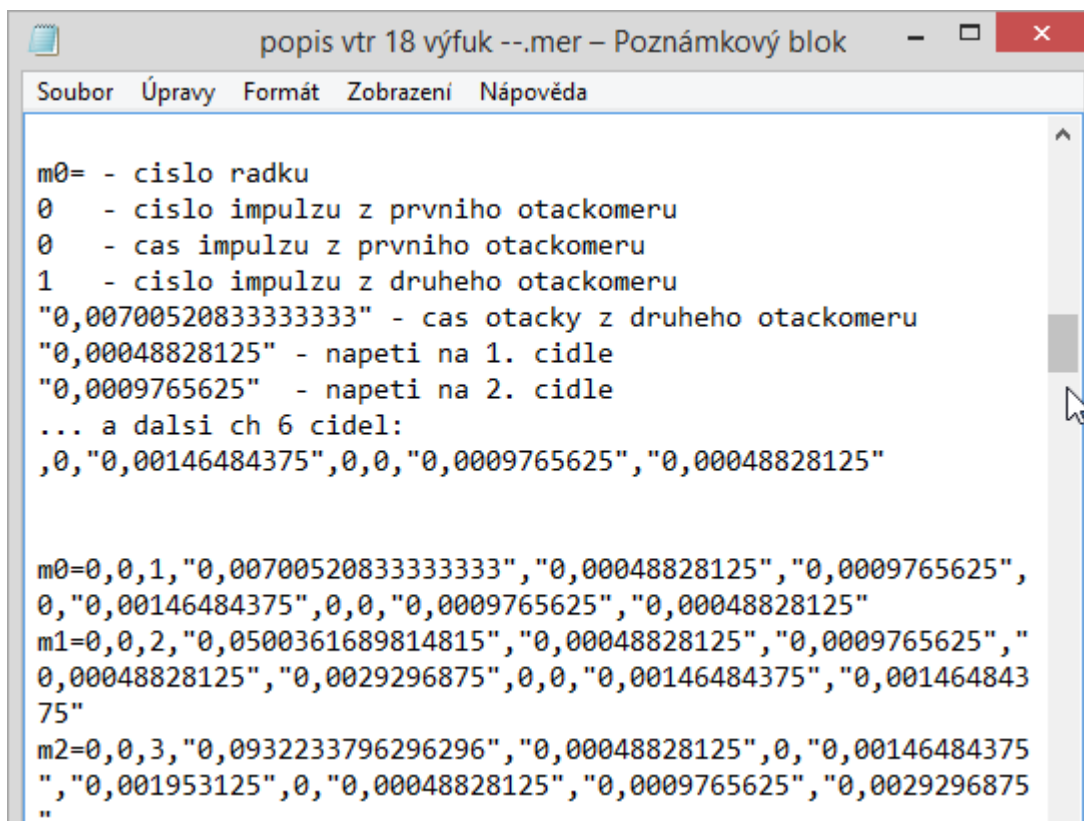


```
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda
Verze=2
datum=24.2.2015 12:57:56
teplota_sani=30
teplota_okoli=20
tlak_okoli=1000
tlak_sani=1000
tlak_pneu=0
pocethodnot=1271
aktivni_zalozka=1
cidlo0="teplota motoru",teplota,°C,"1,77734375","1,953125","13,1","35,5",0,100,0,0,3,4
cidlo1="LAMBDA SONDÁ",Lambda,V,0,5,0,5,0,1,0,0,3,4
cidlo2=0,0,"",0,5,0,5,0,5,0,0,0,0
cidlo3=0,0,"",0,5,0,5,0,5,0,0,0,0
cidlo4=0,0,"",0,5,0,5,0,5,0,0,0,0
cidlo5=0,0,"",0,5,0,5,0,5,0,0,0,0
cidlo6=0,0,"",0,5,0,5,0,5,0,0,0,0
cidlo7=0,0,"",0,5,0,5,0,5,0,0,0,0
Nastavcidlo=1
graf1_od=916
graf1_do=1116
poznamka=""
Vozidlo="1000 2","0,292","0,01",1,1,"0,1",0,"3,09816786199982",1,"4,4085852727312",1,1,1,1,1,1,1,1,0
Zakaznik="0,01","0,01",1
Druhateze=1
Stolice=BR,"5,75",0,"0,07","0,226",1
pomLeft=367
pomTop=36
pomWidth=433
pomHeight=540
RG_levaosa=0
RG_pravaosa=4
zobrazCB_C0=1
zobrazCB_T0=Otacky motoru
zobrazCB_C1=0
zobrazCB_T1=Otacky zadního kola
zobrazCB_C2=1
zobrazCB_T2=Rychlost
zobrazCB_C3=0
zobrazCB_T3=Zrychlení
zobrazCB_C4=1
zobrazCB_T4=Tocivý moment
zobrazCB_C5=0
zobrazCB_T5=Odpor z dobehu
zobrazCB_C6=1
zobrazCB_T6=Vykon
zobrazCB_C7=1
```

Zdroj: výstup z programu MotoCOMTest

Na dalším obr 33 je zobrazen popis formátu zápisu dat.

Obr. 33: Popis formátu zápisu dat



```
popis vtr 18 výfuk --.mer – Poznámkový blok
Soubor  Úpravy  Formát  Zobrazení  Nápověda

m0= - cislo radku
0   - cislo impulzu z prvnioho otackomeru
0   - cas impulzu z prvnioho otackomeru
1   - cislo impulzu z druheho otackomeru
"0,007005208333333333" - cas otacky z druheho otackomeru
"0,00048828125" - napeti na 1. cidle
"0,0009765625" - napeti na 2. cidle
... a dalsi ch 6 cidel:
,0,"0,00146484375",0,0,"0,0009765625","0,00048828125"

m0=0,0,1,"0,007005208333333333","0,00048828125","0,0009765625",
0,"0,00146484375",0,0,"0,0009765625","0,00048828125"
m1=0,0,2,"0,0500361689814815","0,00048828125","0,0009765625",
0,00048828125","0,0029296875",0,0,"0,00146484375","0,001464843
75"
m2=0,0,3,"0,0932233796296296","0,00048828125",0,"0,00146484375
","0,001953125",0,"0,00048828125","0,0009765625","0,0029296875
"
```

Zdroj: výstup z programu MotoCOMTest

Pro samotný výpočet a tvorbu otáčkové charakteristiky stačí vyfiltrovat čtyři hodnoty, ze kterých se graf získá. Po importu do MS Excel můžeme data dále filtrovat a řadit, tak aby vyhovovala výpočtu numerickou derivací.

Tab. 6: Neupravená data před vyfiltrováním

	A	B	C	D	E
1	číslo měření	imp. motoru	čas	imp. válce	čas
3	m3	5	0,048492477	1	0,064069734
4	m4	6	0,072317708	1	0,064069734
5	m5	8	0,096024306	1	0,064069734
6	m6	10	0,134231771	1	0,064069734
7	m7	12	0,166843171	2	0,167255498
8	m8	14	0,190368924	2	0,167255498
9	m9	15	0,212993345	2	0,167255498
10	m10	18	0,253220486	2	0,167255498
11	m11	19	0,258424479	2	0,167255498
12	m12	20	0,28099103	3	0,267478299
13	m13	21	0,3034375	3	0,267478299
14	m14	23	0,342770544	3	0,267478299
15	m15	26	0,369513889	4	0,36411169
16	m16	28	0,391179109	4	0,36411169
17	m17	29	0,412604167	4	0,36411169
18	m18	30	0,434029225	4	0,36411169
19	m19	32	0,455154803	5	0,457879051

Zdroj: výstup z programu MotoCOMTest

Nyní máme ve sloupci A číslo měření, můžeme ponechat pro přehlednost.

Sloupec B obsahuje počet impulzů na senzoru otáček motoru.

Sloupec C záznam času impulzu.

Sloupec D je počet impulzů na válci (setrvačnicku), zde jeden pulz na otáčku jak je nastaveno v parametrech softwaru MotoCOM

Sloupec E je čas pulzu ze setrvačnicku (t).

Je nutné odstranit duplicitní hodnoty, protože výpočet otáček a zrychlení je v podstatě numerická derivace. V té by nám docházelo k dělení nulou.

Pro úhlovou rychlost platí

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (32)$$

$$\omega = \frac{\varphi_n - \varphi_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \quad (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (33)$$

Vysvětlivky: úhlovou rychlost ω vypočítáme jako rozdíl otočení $\Delta \varphi$ vydělený rozdílem času Δt .

MS Excel obsahuje funkci odebrat duplicity. Duplicity je nutné odebrat pro všechny sloupce, se kterými budeme počítat. Zde se duplicita vyskytovala více u přírůstku otáček válce, protože odečítáme jeden pulz na otáčku z válce i motoru.

Tab. 7: Důsledek duplicit – dělení nulou

	A	B	C	D	E	F
1						počet ot./sec.
2	m0	0	0	1	0,024350405	
3	m1	2	0,029406829	1	0,024350405	=(D3-D2)/(E3-E2)
4	m2	3	0,047770544	1	0,024350405	#DĚLENÍ_NULOU!
5	m3	5	0,084199942	2	0,082643229	17,15477018
6	m4	6	0,102265625	2	0,082643229	#DĚLENÍ_NULOU!
7	m5	8	0,138153935	3	0,140546875	17,27006971
8	m6	10	0,174343171	3	0,140546875	#DĚLENÍ_NULOU!
9	m7	12	0,193132234	4	0,198072917	17,38343142
10	m8	14	0,228177083	4	0,198072917	#DĚLENÍ_NULOU!
11	m9	16	0,263945313	5	0,255396412	17,44485387
12	m10	19	0,283615451	5	0,255396412	#DĚLENÍ_NULOU!
13	m11	21	0,318438947	6	0,312638889	17,46954456

Zdroj: vlastní zpracování

Že jsou duplicitní data odstraněna, jde vidět z nenavazujících kroků měření. Po úpravě odstraněním duplicit dostáváme tabulku, ve které můžeme provést numerickou derivaci. Tím získáme počet otáček válce v čase za jednu vteřinu.

Tab. 8: Upravená data po vyfiltrování duplicit

		SMODCH....		: X ✓ f _x		=(D3-D2)/(E3-E2)	
	A	B	C	D	E	F	
1						počet ot./sec.	
2	m0	0	0	1	0,024350405		
3	m3	5	0,084199942	2	0,082643229	=(D3-D2)/(E3-E2)	
4	m5	8	0,138153935	3	0,140546875	17,27006971	
5	m7	12	0,193132234	4	0,198072917	17,38343142	
6	m9	16	0,263945313	5	0,255396412	17,44485387	
7	m11	21	0,318438947	6	0,312638889	17,46954456	
8	m13	24	0,372333623	7	0,369973958	17,44133232	
9	m15	33	0,428606771	8	0,427410301	17,41057935	
10	m17	35	0,461215278	9	0,484796007	17,42594227	
11	m20	40	0,55171875	10	0,54208044	17,45674959	

Zdroj: vlastní zpracování

Po druhé derivaci dostáváme zrychlení válce (setrvačnicku) dle vztahu.

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2 \cdot \varphi}{dt^2} \quad (\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}) \quad (34)$$

$$\varepsilon = \frac{\left(\frac{\varphi_n - \varphi_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}\right) - \left(\frac{\varphi_{n-1} - \varphi_{n-2}}{t_{n-1} - t_{n-2}}\right)}{(t_n - t_{n-1}) - (t_{n-1} - t_{n-2})} \quad (\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}) \quad (35)$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_n - \omega_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \quad (\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}) \quad (36)$$

Vysvětlivky: úhlové zrychlení ε je možné vypočítat jako rozdíl úhlové rychlosti $\omega_n - \omega_{n-1}$ vydělený rozdílem času $t_n - t_{n-1}$.

Tab. 9: Ukázka výpočtu akcelerace

		KDÝŽ		: X ✓ f _x		=(F4-F3)/(E4-E3)	
	A	B	C	D	E	F	G
1		imp	čas mot.	imp	čas 1 otočky	ot./sec.	zrychlení
2	m0	0	0	1	0,024350405		
3	m3	5	0,084199942	2	0,082643229	17,15477018	
4	m5	8	0,138153935	3	0,140546875	17,27006971	=(F3)/(E4-E3)
5	m7	12	0,193132234	4	0,198072917	17,38343142	1,970615459
6	m9	16	0,263945313	5	0,255396412	17,44485387	1,071505702
7	m11	21	0,318438947	6	0,312638889	17,46954456	0,431335099
8	m13	24	0,372333623	7	0,369973958	17,44133232	-0,492058957
9	m15	33	0,428606771	8	0,427410301	17,41057935	-0,535427179
10	m17	35	0,461215278	9	0,484796007	17,42594227	0,267713381

Zdroj: vlastní zpracování

V dalším kroku můžeme určit kroutící moment, který vyvozuje kolo motocyklu na válec. Ze vztahu:

$$M = J \cdot \varepsilon \cdot 2 \cdot \pi \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad (37)$$

Tab. 10: Výpočet kroutícího momentu

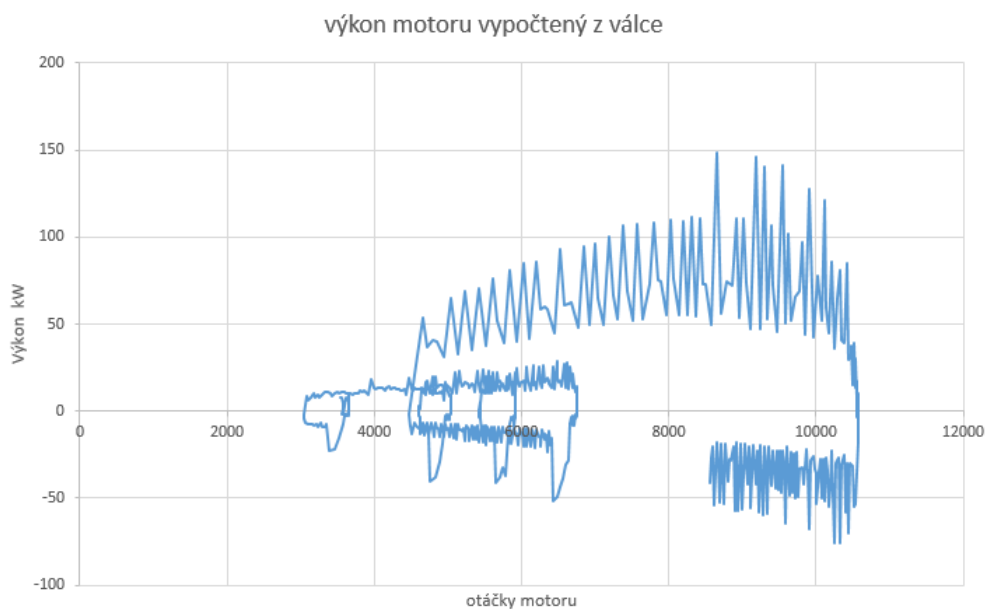
		A	B	C	D	E	F	G	H
1			imp	čas mot.	imp	čas 1 otočky	ot./sec.	zrychleni	M na valci
2	m0		0	0	1	0,024350405			
3	m3		5	0,084199942	2	0,082643229	17,15477018		
4	m5		8	0,138153935	3	0,140546875	17,27006971	1,991230959	=AB\$2*G4*2*PI()
5	m7		12	0,193132234	4	0,198072917	17,38343142	1,970615459	71,19501707
6	m9		16	0,263945313	5	0,255396412	17,44485387	1,071505702	38,71169607
7	m11		21	0,318438947	6	0,312638889	17,46954456	0,431335099	15,58341054
8	m13		24	0,372333623	7	0,369973958	17,44133232	-0,492058957	-17,7772612
9	m15		33	0,428606771	8	0,427410301	17,41057935	-0,535427179	-19,3440821
10	m17		35	0,461215278	9	0,484796007	17,42594227	0,267713381	9,672033506

Zdroj: vlastní zpracování

Z poměrů platící pro točivý moment a výkon dopočítáme zbytek otáčkové charakteristiky.

Výsledná výkonová charakteristika vytvořená pomocí měření zrychlení válce. Otáčky motoru jsou dopočítávané z převodových poměrů.

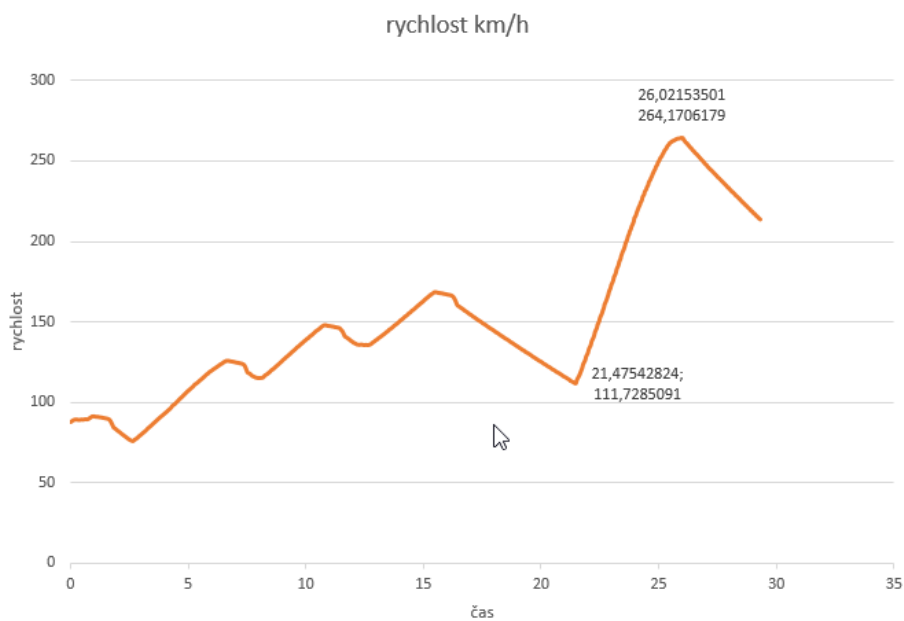
Graf 2: Průběh výkonu během zaznamenaného měření



Zdroj: vlastní zpracování

V grafu 2 je zobrazen průběh výkonu během celé zkoušky. V grafu je zobrazen záporný výkon, který je způsoben řazením rychlostních stupňů. Pro lepší pochopení je proto použit průběh rychlosti na následujícím grafu.

Graf 3: Vývoj rychlosti při dynamické zkoušce

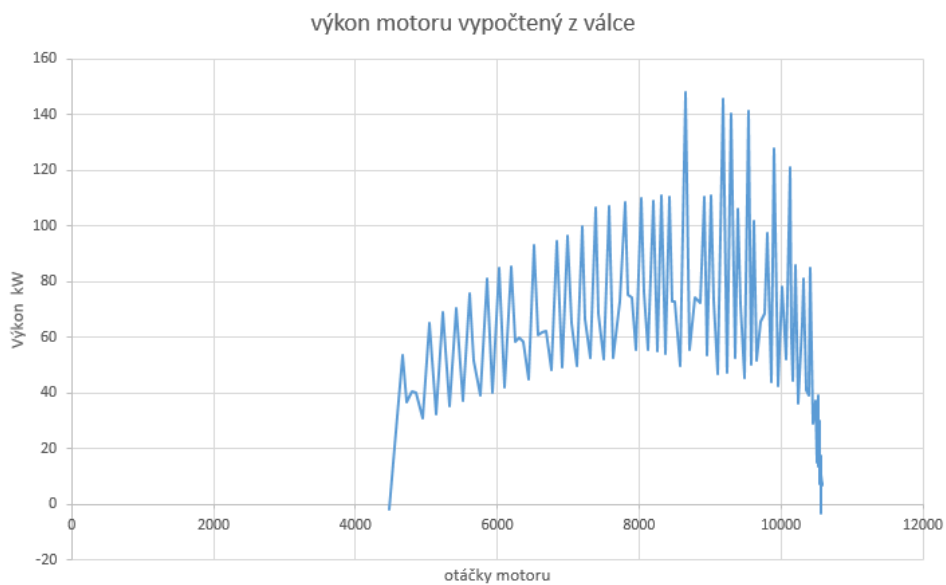


Zdroj: vlastní zpracování

Na grafu 3 je zaznamenán rychlostní průběh, ze kterého je zřejmé že měření výkonu probíhalo v intervalu rychlosti $111 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a $264 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Vybereme tedy pro otáčkovou charakteristiku interval dat od 21 do 26,2 vteřiny.

Po změně vstupních dat dostáváme průběh výkonu, který už se podobá předpokládané výkonové křivce.

Graf 4: Výřez dynamické zkoušky



Zdroj: vlastní zpracování

Stejným postupem můžeme vypočítat a do grafu 4 vynést výkonovou charakteristiku z naměřených otáček motoru.

Tab. 11: Ukázka výpočtu akcelerace z dat naměřených na motoru

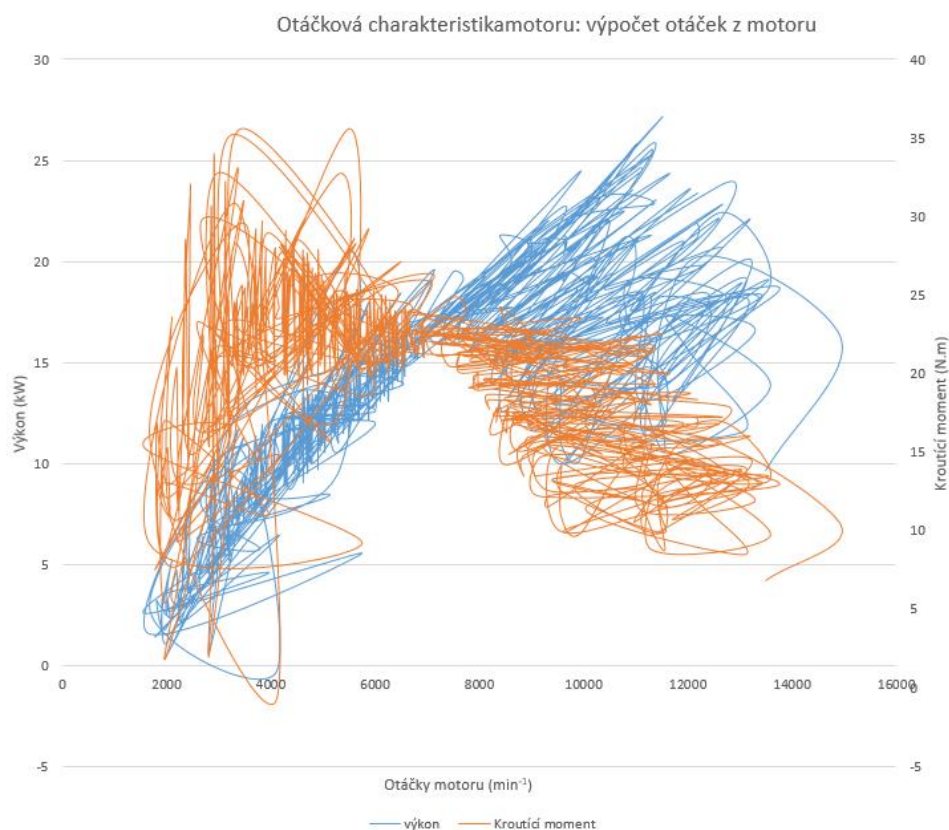
KDYŽ					
: X ✓ f _x =(D4-D3)/(C4-C3)					
	A	B	C	D	E
1		impulz	čas ot. motoru	ot. motoru	zrychleni motoru
2	m0	0	0		
3	m3	5	0,084199942	59,38246362	
4	m5	8	0,138153935	55,60292816	=(D4-D3)/(C4-C3)
5	m7	12	0,193132234	72,75598011	311,9967765
6	m9	16	0,263945313	56,48674049	-229,749079
7	m11	21	0,318438947	91,75383635	647,1782685
8	m13	24	0,372333623	55,66412542	-669,6340652
9	m15	33	0,428606771	159,9341835	1852,927399
10	m17	35	0,461215278	61,33368827	-3023,766018
11	m20	40	0,55171875	55,24649914	-67,25917788
12	m22	43	0,604772859	56,54604456	24,49471777
13	m24	48	0,640661169	139,321132	2306,463776
14	m27	53	0,730743634	55,50469766	-930,4411692

Zdroj: vlastní zpracování

Z pohledu do tabulky je zřejmé že druhá derivace způsobila velmi nevyrovnané otáčky a z nich vypočtené zrychlení je nepoužitelné pro vyhodnocení výkonu.

Výpočet výkonu z dat naměřených otáček motoru nelze získat numerickou derivací. Vlivem kmitů a vibrací motoru dochází k extrémní variabilitě. Záporné hodnoty akcelerace vychází z podstaty čtyřdobého motoru. Zároveň mohou být způsobeny chybou měření. Ve vlastní části práce budeme pracovat pouze s otáčkami změřenými na setrvačnicku válcové zkušebny.

Graf 5: Výsledný graf dat naměřených z čidel na motoru



Zdroj: vlastní zpracování

8 Vlastní část

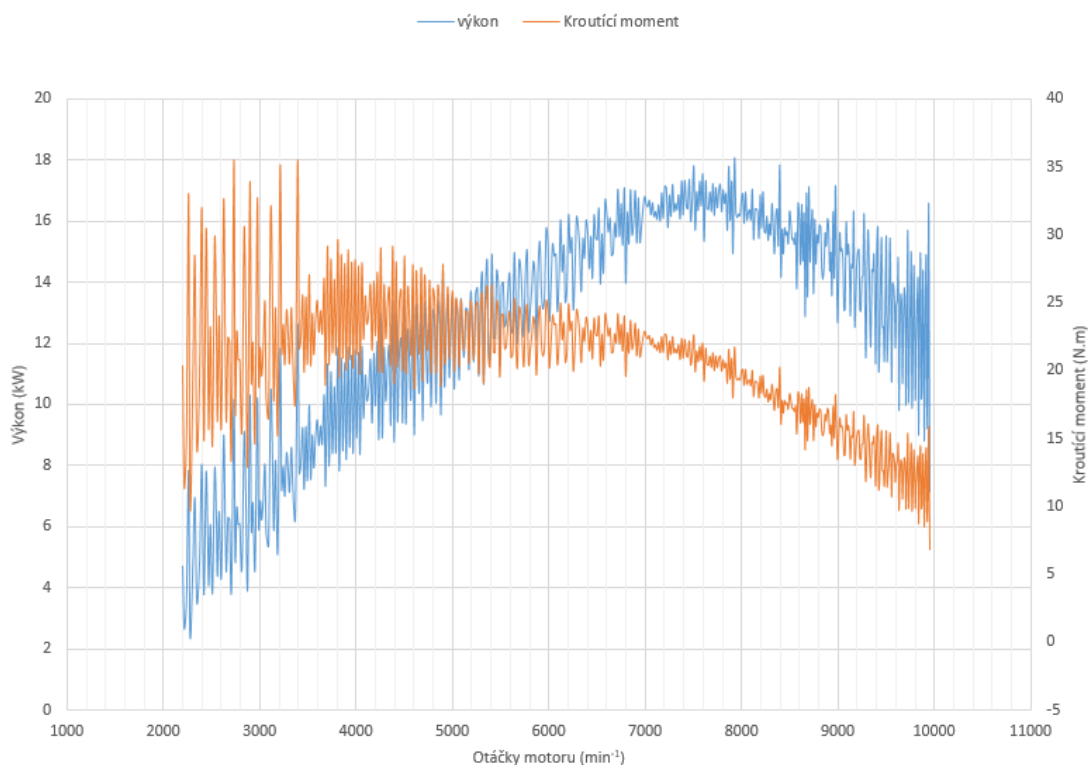
V této kapitole budou na konkrétních příkladech ukázány použité matematicko-statistické metody.

8.1 Derivace vstupních dat

První část vlastní práce spočívá v sestavení grafu vnější otáčkové charakteristiky. V následujícím grafu je zobrazen neupravený výpočet otáček z naměřených dat na válcové zkušební MotoCOMTest.

Graf 6: Neupravená vstupní data

Otáčková charakteristika motoru: neupravená vstupní data



Zdroj: vlastní zpracování

Z grafu 6 je patrné, že naměřená data značně kolísají a potřebují vhodnou metodu zmenšit variabilitu (kolísavost).

8.2 Aplikace trendových funkcí

Nejprve byly neupravená data proložena trendovými funkcemi. Jako vhodné trendové funkce byly zvoleny polynomičká funkce 6. stupně pro výkon a kvadratická funkce pro kroučící moment. Tyto funkce byly zvoleny na základě nejvyšších hodnot korelačních koeficientů a koeficientů determinatace (R , R^2).

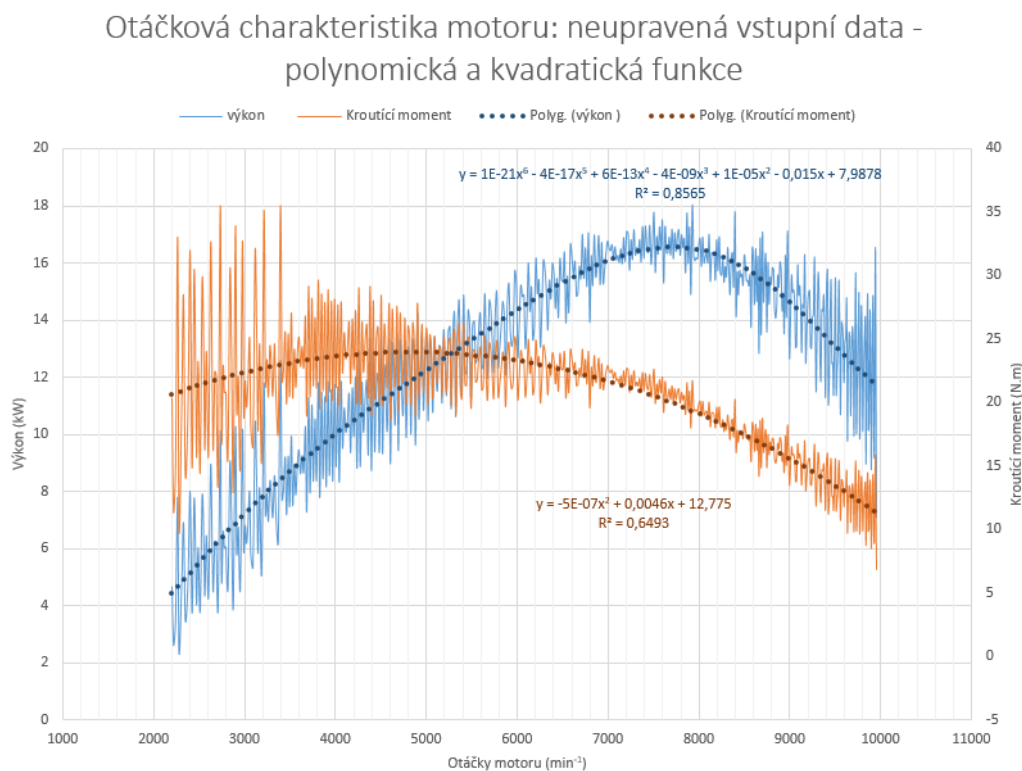
Vypočtená polynomičká funkce pro kroučící moment:

$$y = 1E-21x^6 - 3E-17x^5 + 4E-13x^4 - 1E-09x^3 - 1E-06x^2 + 0,02x - 11,069$$

Vypočtená polynomičká funkce pro výkon:

$$y = -5E-07x^2 + 0,0046x + 12,775$$

Graf 7: Trendové funkce



Zdroj: vlastní zpracování

8.3 Aplikace metody prostých klouzavých průměrů

Klouzavé průměry jsou základní analytickou metodou vyrovnávání. Princip metody spočívá v hromadném vyrovnání hodnot, kdy posloupnost empirických pozorování nahradíme řadou průměrů vypočítaných z těchto pozorování (hodnot).

V této práci byly použity tyto prosté klouzavé průměry:

- z 3 naměřených hodnot,
- z 5 naměřených hodnot,
- ze 7 naměřených hodnot,
- z 9 naměřených hodnot
- z 21 naměřených hodnot.

Předností této metody je jednoduchá aplikovatelnost, jednoznačnost výsledku a nenáročné odstranění šumu z měření.

Mezi nedostatky patří především – zkracování souboru o krajní hodnoty, např. při klouzavém průměru ze tří měření přijdeme o první a poslední hodnotu souboru, při průměrech ze sedmi měření o první a poslední tři hodnoty souboru atd., další významnou nevýhodou je samotná volba délky klouzavé části období interpolace, nelze ji stanovovat exaktně, většinou se jí snažíme stanovit na základě věcné analýzy zkoumaného jevu nebo na základě doporučení z odborných publikací.

Prosté klouzavé průměry z 3 naměřených hodnot

V tab. 12 je zobrazen výpočet klouzavého průměru ze tří naměřených hodnot v MS Excel. Prosté klouzavé průměry jsou vypočítané na základě vzorce (38).

$$y_t = \frac{1}{3} \cdot (y_{t-1} + y_t + y_{t+1}) \quad (-) \quad (38)$$

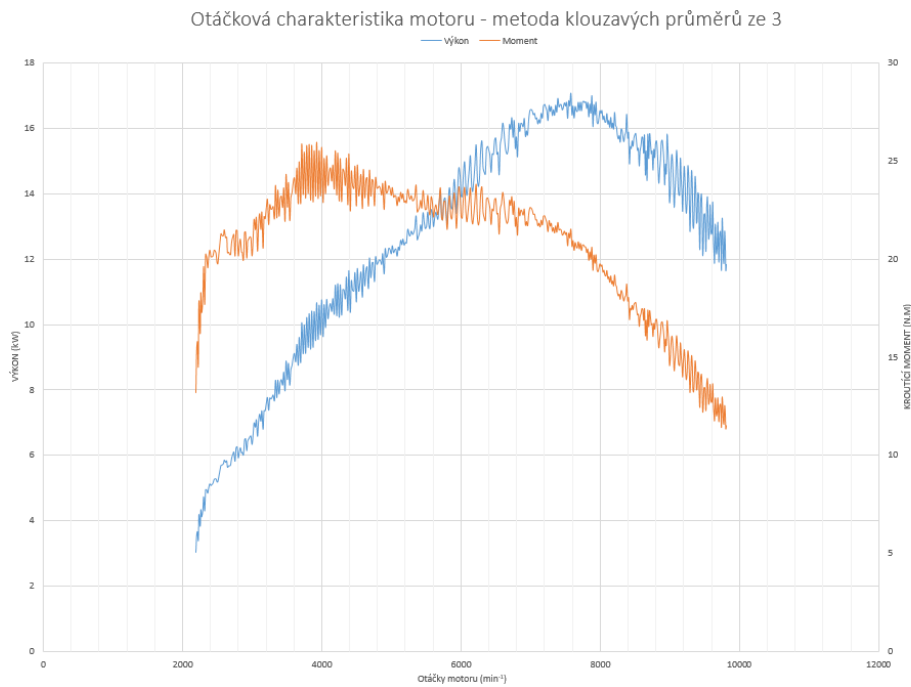
Tab. 12: Prosté klouzavé průměry z 3 naměřených hodnot

SMODCH....				= ((F15+F14+F13)/3)/((D15+D14+D13)/3)			
	A	B	C	D	E	F	G
1	č. měř.	imp. stolice	čas stolice	rozdíl časů	otacky valce	rozdíl otacek valce	akcelerace valce
12	m914	6303	17,04623263889	0,033185764	9,040020926		
13	m916	6314	17,07655671296	0,030324074	9,06870229	0,028681364	
14	m919	6325	17,10673177083	0,030175058	9,113487079	0,044784789	=(D15+D14+D13)/3
15	m922	6337	17,13948350694	0,032751736	9,159819772	0,046332693	1,495959796
16	m924	6348	17,16935040509	0,029866898	9,207517923	0,047698151	1,537992983

Zdroj: vlastní zpracování

V následujícím grafu 7 je vidět zřetelné zlepšení ve vyhlazení hodnot.

Graf 8: Prosté klouzavé průměry z 3 naměřených hodnot



Zdroj: vlastní zpracování

Prosté klouzavé průměry z 9 naměřených hodnot

V tab. 13 je zobrazen výpočet klouzavého průměru z devíti naměřených hodnot v MS Excel. Vzorec pro výpočet klouzavého průměru je ve vzorci (39).

$$y_t = \frac{1}{9} \cdot (y_{t-4} + y_{t-3} + y_{t-2} + y_{t-1} + y_t + y_{t+1} + y_{t+2} + y_{t+3} + y_{t+4}) \quad (-) \quad (39)$$

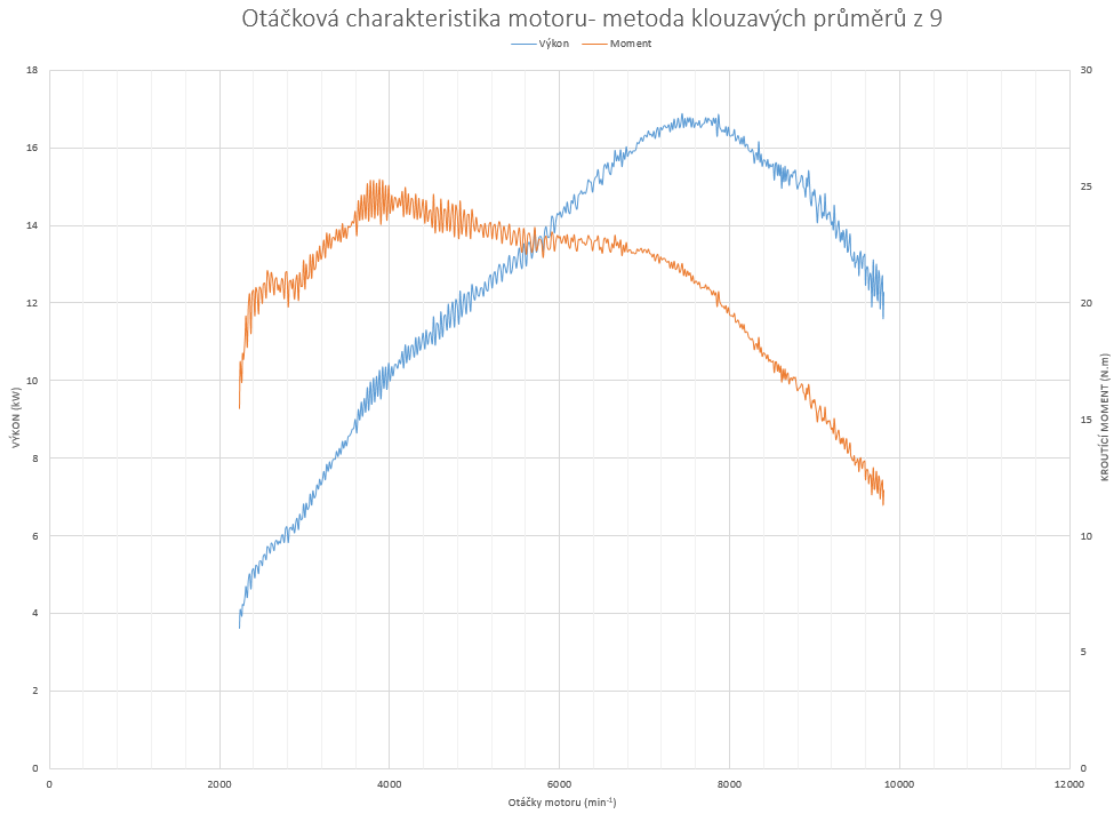
Tab. 13: Prosté klouzavé průměry z 9 naměřených hodnot

SMODCH....		X ✓ fx		=((F14+F13+F20+F21+F18+F17+F16+F15+F19+F21)/9)/((D19+D15+D17+D18+D17+D16+D14+D13+D20+D21)/9)				
1	A	B	C	D	E	F	G	H
	č měř	imp. stolice	cas stolice	rozdíl časů	otáčky valce	rozdíl otacek valce	akcelerace valce	
11	m911	6291	17,01304687500	17,01304688				
12	m914	6303	17,04623263889	0,033185764	9,040020926			
13	m916	6314	17,07655671296	0,030324074	9,06870229	0,028681364		
14	m919	6325	17,10673177083	0,030175058	9,113487079	0,044784789		
15	m922	6337	17,13948350694	0,032751736	9,159819772	0,046332693		
16	m924	6348	17,16935040509	0,029866898	9,207517923	0,047698151		
17	m927	6360	17,20174913194	0,032398727	9,259623113	0,05210519	=((F14+F13+F20+F21	
18	m930	6372	17,23402922454	0,032280093	9,293653639	0,034030526	1,698879127	
19	m932	6383	17,26337529	0,029346065	9,370932755	0,077279116	1,611623959	
20	m935	6395	17,2952662	0,031890914	9,407068003	0,036135249	1,733269383	
21	m938	6407	17,32698206	0,031715856	9,458990968	0,051922965	1,709421298	
22	m940	6419	17,3584592	0,031477141	9,530725743	0,071734775	1,800302347	

Zdroj: vlastní zpracování

Z grafu 9 vyplývá, že klouzavý průměr z 9 naměřených hodnot dosáhl nižší kolísavosti, než bylo u klouzavého průměru z 3 hodnot. Podoba křivek se více podobá skutečnosti.

Graf 9: Prosté klouzavé průměry z 9 naměřených hodnot



Zdroj: vlastní zpracování

Prosté klouzavé průměry z 21 naměřených hodnot

V tab. 14 je zobrazen výpočet klouzavého průměru z jednadvaceti naměřených hodnot v MS Excel.

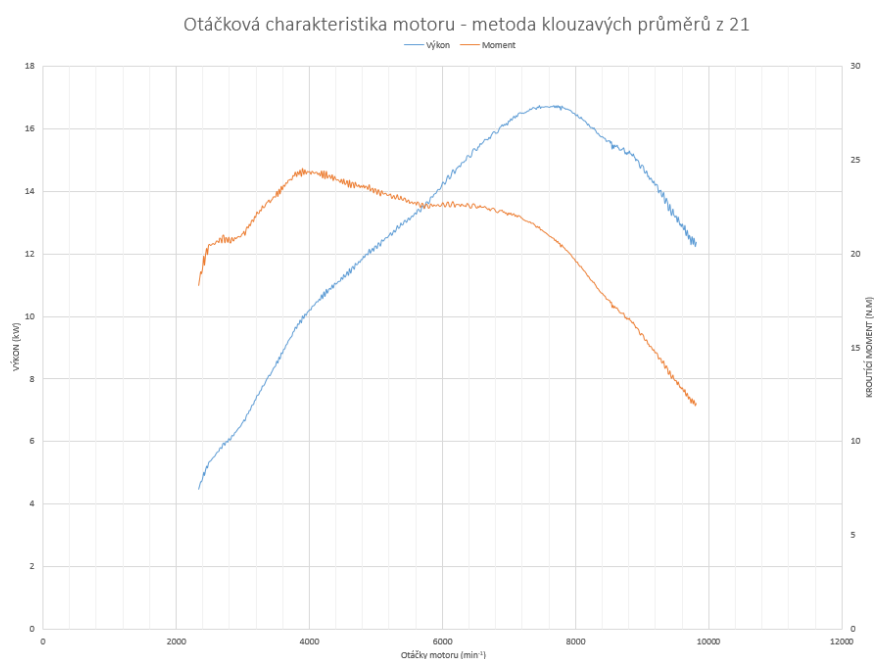
Tab. 14: Prosté klouzavé průměry z 21 naměřených hodnot

	A	B	C	D	E	F	G
1	č měř	imp. stolice	cas stolice	rozdíl časů	otacky valce	rozdíl otacek valce	akcelerace valce
11	m911	6291	17,01304687500				
12	m914	6303	17,04623263889	0,033185764	9,040020926		
13	m916	6314	17,07655671296	0,030324074	9,06870229	0,028681364	
14	m919	6325	17,10673177083	0,030175058	9,113487079	0,044784789	
15	m922	6337	17,13948350694	0,032751736	9,159819772	0,046332693	
16	m924	6348	17,16935040509	0,029866898	9,207517923	0,047698151	
17	m927	6360	17,20174913194	0,032398727	9,259623113	0,05210519	
18	m930	6372	17,23402922454	0,032280093	9,293653639	0,034030526	
19	m932	6383	17,26337529	0,029346065	9,370932755	0,077279116	
20	m935	6395	17,2952662	0,031890914	9,407068003	0,036135249	
21	m938	6407	17,32698206	0,031715856	9,458990968	0,051922965	
22	m940	6419	17,3584592	0,031477141	9,530725743	0,071734775	
23	m943	6431	17,38979456	0,031335359	9,573849208	0,043123465	
24	m945	6443	17,42092014	0,031125579	9,638375012	0,064525803	
25	m947	6455	17,451875	0,030954861	9,691531127	0,053156116	=(F26+F25+F24+F23
26	m949	6467	17,48262297	0,030747975	9,756740225	0,065209098	1,820286984
27	m951	6479	17,51317708	0,030554109	9,818646716	0,061906491	1,854539009
28	m954	6492	17,54610243	0,032925347	9,870814659	0,052167942	1,844837492
29	m956	6504	17,57628472	0,030182292	9,939603106	0,068788448	1,875994962
30	m958	6517	17,60875579	0,032471065	10,00891107	0,069307961	1,936175289
31	m960	6529	17,63860098	0,029845197	10,05186873	0,042957661	1,888484039
32	m962	6542	17,67070168	0,032100694	10,12439156	0,072522835	1,946124646
33	m965	6555	17,70258681	0,031885127	10,19283997	0,068448402	1,976355806
34	m967	6567	17,73189091	0,029304109	10,23747223	0,044632264	1,943390531
35	m969	6580	17,76341725	0,031526331	10,3088431	0,071370871	1,993264911

Zdroj: vlastní zpracování

Z následujícího grafu (graf 10) je patrné, že s narůstající délkou klouzavé části se hodnoty již skoro zcela vyrovnají. Nepatrné kolísání je ještě pouhým okem patrné. Z tohoto výsledku lze předpokládat, že další zvětšení délky klouzavé části hodnoty zcela vyhladí, ale za předpokladu výrazného zkrácení souboru. V tomto případě, kdy se pracuje s cca 1000 měřeními, ztráta dvou desítek hodnot nezpůsobí zkreslení výsledku. Avšak je nutné si počínat s určitou obezřetností, jelikož průměr z velkého počtu měření může zahladit např. významné propady výkonu apod.

Graf 10: Prosté klouzavé průměry z 21 naměřených hodnot



Zdroj: vlastní zpracování

Chybějící prosté klouzavé průměry jsou součástí přílohy č. 1.

Tab. 15: Celkové zhodnocení klouzavých prostých průměrů

Hodnocení prostých klouzavých průměrů	variační koeficient (%)	
	výkon motoru	otáčky motoru
<i>neupravená data</i>	33,8258	40,1235
klouzavý průměr ze 3 hodnot	36,8561	28,0297
klouzavý průměr ze 5 hodnot	36,7335	27,7233
klouzavý průměr ze 7 hodnot	36,6108	27,5970
klouzavý průměr ze 9 hodnot	36,4881	27,2836
klouzavý průměr z 21 hodnot	35,5088	26,0254

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky 15 je patrné, že pomocí klouzavých prostých průměrů lze dosáhnout přijatelného vyrovnání hodnot. Nejvýraznějšího vyrovnání dosáhl klouzavý prostý průměr z 21 hodnot. Hodnoty variačního koeficientů jsou značně vyrovnané.

8.4 Aplikace metody vážených klouzavých průměrů

Tato metoda má velkou výhodu, že váhy klouzavých průměrů jsou invariantní na časovém bodu t , takže je lze předem spočítat a tabelovat buď v písemné formě, nebo uchovat přímo v počítačových procedurách.

Vážené klouzavé průměry z 3 naměřených hodnot

V tabulce 16 je zobrazen výpočet klouzavého váženého průměru ze tří naměřených hodnot v MS Excel.

Tab. 16: Vážené klouzavé průměry z 3 naměřených hodnot

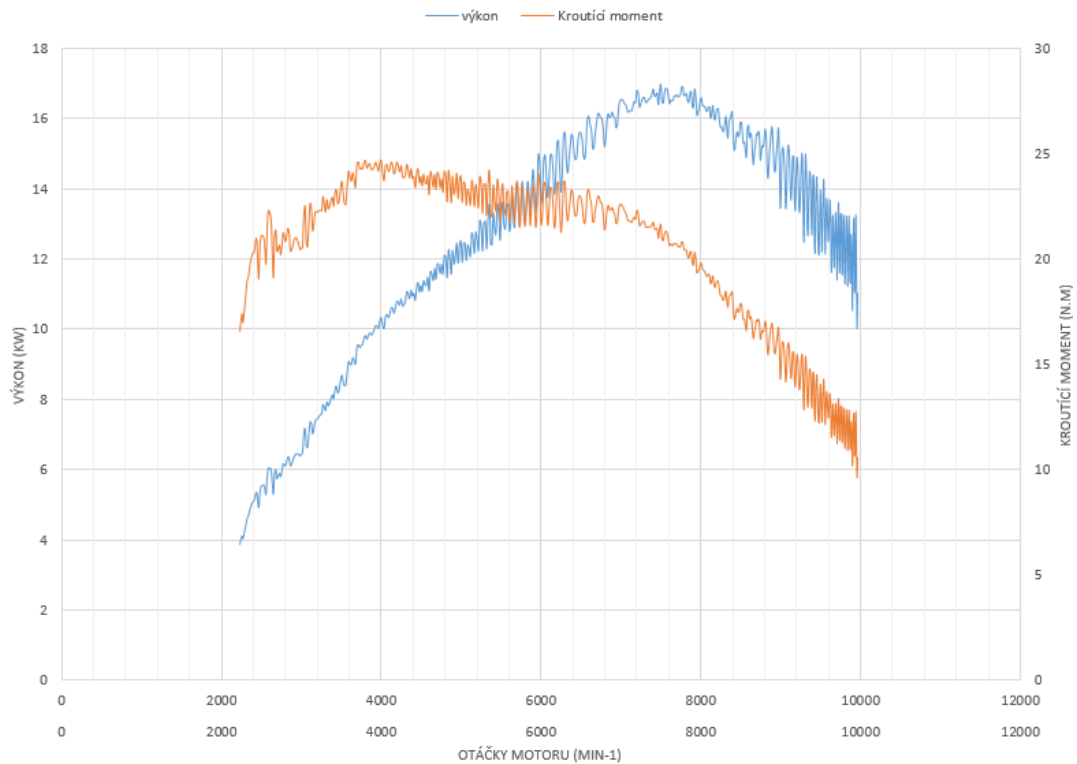
SMODCH....		=((C61-C60)*(D60-D59)/(C60-C59)+(C60-C59)*(D61-D60)/(C61-C60))/(C61-C59)					
	A	B	C	D	E	F	G
1	č měř	imp. Stolice	cas stolice	otacky valce	akcelerace valce	Moment na valci	Moment na motoru
59	m911	6291	17,01304688	9,054424516	0,626490574	25,86186133	6,442560047
60	m914	6314	17,07655671	9,094235184	1,415237039	47,02268653	11,71402467
61	m916	6325	17,10673177	9,135951816	1,61046424	58,42173147	14,55369002
62	m919	6348	17,16935041	9,228827695		66,48081331	16,56132272

Zdroj: vlastní zpracování

Z grafu 11 je patrné zlepšení oproti původním nevyrovnaným hodnotám i oproti prosté formě klouzavých průměrů z 3 a 5 hodnot.

Graf 11: Vážené klouzavé průměry z 3 naměřených hodnot

Otáčková charakteristika motoru: metoda klouzavých vážených průměrů



Zdroj: vlastní zpracování

Z následující tabulky 17 je patrné, že pomocí klouzavých vážených průměrů lze také dosáhnout přijatelného vyrovnání hodnot jako u klouzavých průměrů prostých. Hodnota variačního koeficientů u tohoto váženého klouzavého průměru je nižší a vypovídá o výraznějším vyrovnání hodnot.

Tab. 17: Celkové zhodnocení klouzavých vážených průměrů

Hodnocení vážených klouzavých průměrů	variační koeficient (%)	
	výkon motoru	otáčky motoru
<i>neupravená data</i>	33,8258	40,1235
klouzavý průměr ze 3 hodnot	26,1817	35,1662

Zdroj: vlastní zpracování

8.5 Aplikace metody exponenciálního vyrovnávání

Modely exponenciálního vyrovnávání berou v úvahu stárnutí informace pomocí vhodného systému vah (konstanty α , směrnice γ a kvadratického členu φ). Odhad trendu je získáván formou lineární kombinací všech dosavadních pozorování časové řady, přičemž váhy pro starší (dřívější) pozorování exponenciálně klesají.

Existují tři základní typy exponenciálního vyrovnávání:

- a) jednoduché (v krátkém období je trend konstantní)
- b) dvojité (v krátkém období je trend lineární)
- c) trojité (v krátkém období je trend kvadratický)

Z povahy grafu znázorňující vývoj hodnot je patrné, že nejvhodnější by bylo použít pro výpočet trojitě exponenciální vyrovnávání. Protože právě charakteristiky tohoto vyrovnávání nejlépe popisují vývoj kroutícího momentu.

U trojitě exponenciálního vyrovnávání se nejprve hledá optimální poměr Alfa, Gamy a Fí. Alfa určuje úroveň (konstantu), Gama a Fí mají význam pro směrnici.

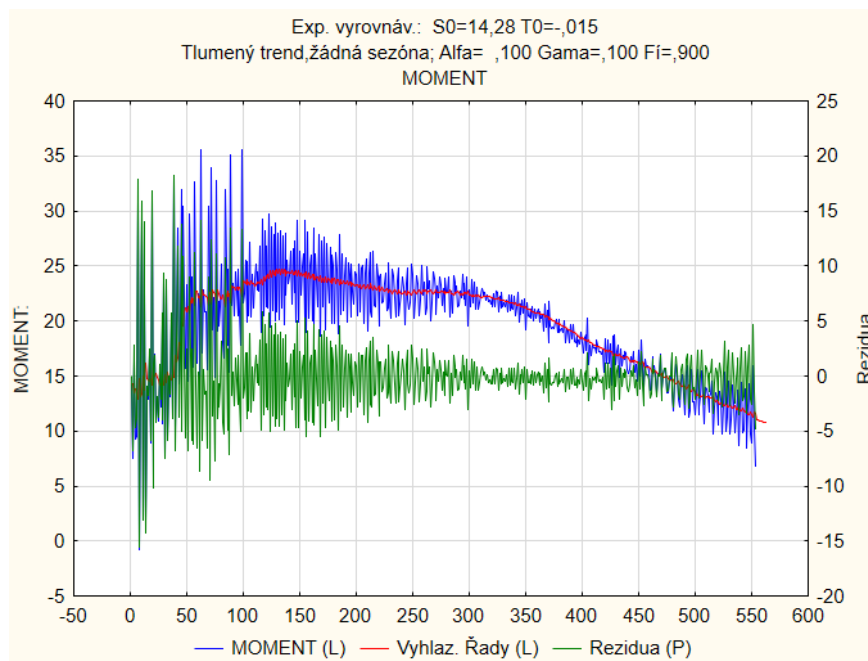
Tab. 18: Mřížkové hledání parametrů Alfa, Gamy a Fí (výřez z celkového mřížkového hledání)

Mřížkové hledání parametrů									
Číslo modelu	Alfa	Gama	Fí	Průměrná chyba	Průměr a chyba	Suma mocniny	Průměr mocniny	Průměrná % chyba	Průměrná absolutní % chyba
9	0,100	0,100	0,900	-0,0337	2,2710	7087,857	12,8171	-1,6395	10,6741

Zdroj: vlastní zpracování výstupů z programu Statistica 12

Optimální poměr byl stanoven přes mřížkové hledání parametrů. Hodnota optimálního poměru je u Alfa 0,100, Gamy 0,100 a Fí 0,900. Důvodem této kombinace vah je nejnižší hodnota průměrné absolutní procentuální chyby (10,6741%).

Graf 12: Vyrovnávání hodnot kroučícího momentu pomocí trojitého exponenciálního vyrovnávání



Vysvětlivky: modrá vyjadřuje neupravená vstupní data, zelená vyjadřuje rezidua (rozdíl mezi neupravenými vstupními daty a vyhlazenou řadou), červená vyjadřuje vyrovnané hodnoty pomocí trojitého exponenciálního vyrovnávání (v krátkých intervalech mají kvadratický trend + vážení hodnot dle „stáří“)

Zdroj: výstup z programu Statistica 12

Výsledky trojitého exponenciálního vyrovnávání:

Výsledky trojitého exponenciálního vyrovnávání vychází z výše popsaného mřížkového hledání.

Tab. 19: Výsledky trojitého exponenciálního vyrovnávání

Kroučící moment: Trojité exponenciální vyrovnávání	
Kvadratický (tlumený) trend, žádná sezóna	
Alfa = 0,100, Gama = 0,100, Fí = 0,900	
Průměrná procentuální chyba	-1,6395
Průměrná absolutní procentuální chyba	10,6741

Zdroj: vlastní zpracování výstupů z programu Statistica 12

Průměrná absolutní procentuální chyba pro celý model by měla být do 10% (dle Hindls a kol., 2006), aby bylo možné považovat model za kvalitní. V tomto zkoumání časové

řady průměrná absolutní procentuální chyba vyšla 10,67 %, což vyjadřuje mírnou nepřesnost ve vypočteném modelu.

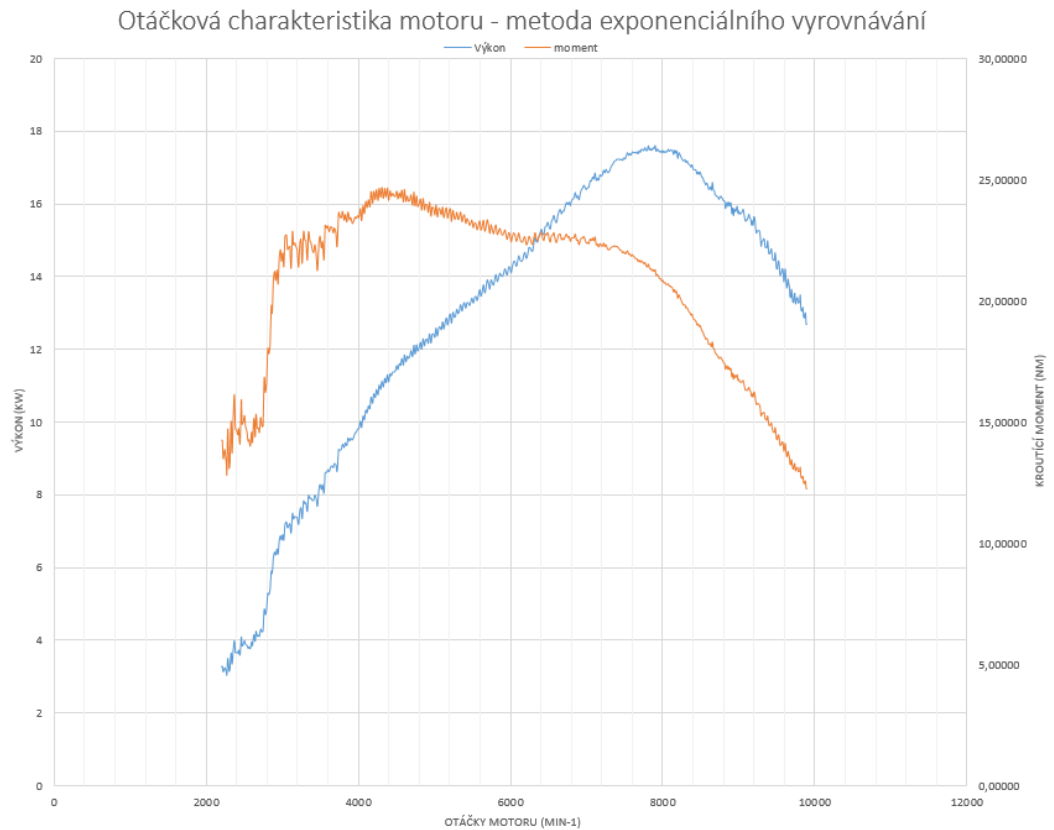
Tab. 20: Ukázka vyrovnaných hodnot kroutícího momentu pomocí trojitého exponenciálního vyrovnávání z programu Statistica 12 (pouze výřez)

Exp. vyrovnáv.: S0=14,28 T0=-,015 (Tabulka1) Tlumený trend, žádná sezóna; Alfa= ,100 Gama=,100 Fí=,900 MOMENT			
Případ	MOMENT	Vyhlaz. Řady	Rezidua
1	14,27502	14,26903	0,0060
2	7,51214	14,25754	-6,7454
3	16,33775	13,51141	2,8263
4	15,17288	13,75505	1,4178
5	9,21735	13,87450	-4,6572
6	9,50143	13,34677	-3,8453
7	30,70813	12,87182	17,8363
8	-0,77173	14,73460	-15,5063
9	15,95427	13,11564	2,8386
10	29,22773	13,36356	15,8642
11	1,95776	15,06041	-13,1026
12	27,72932	13,73160	13,9977

Zdroj: výstup z programu Statistica 12

Tyto vyrovnané hodnoty byly použity pro výpočet otáčkové charakteristiky a poté vyneseny do následujícího grafu (graf 13).

Graf 13: Trojité exponenciální vyrovnávání



Zdroj: vlastní zpracování

Z grafu 13 i z tab. 21 je patrné, že i touto metodou lze dosáhnout určitého stupně vyhlazení otáčkové charakteristiky.

Tab. 21: Hodnocení exponenciálního vyrovnávání

Hodnocení exponenciálního vyrovnávání	variační koeficient (%)	
	výkon motoru	otáčky motoru
<i>neupravená data</i>	33,8258	40,1235
trojité exponenciální vyrovnávání	30,6428	33,4802

Zdroj: vlastní zpracování

U exponenciálního vyrovnávání ať u jednoduché či u trojitého, jako je náš případ, volíme na základě mřížkového vyhledávání optimální volbu vah, tedy úroveň, která zastupuje úroveň vlivu starších hodnot na naměřené řadě. V této práci byla zvolena alfa 0,100, což vyjadřuje, že vliv starších hodnot (prvních naměřených) bude slábnout velmi rychle.

Nevýhodou této metody je její náročnost. U této metody je nutné dodržet předepsaný postup. Nejprve na základě grafického znázornění bude definován trend. Tento trend vyjadřuje vývoj naměřených hodnot v krátkém období, na jehož základě lze rozhodnout, jaký typ exponenciálního vyrovnávání bude použit. V našem případě byl zjištěn kvadratický trend, který zastupuje trojité exponenciální vyrovnávání. Poté pomocí metody mřížkového hledání parametrů (v programu Statistica 12) byly nalezeny optimální hodnoty vah pro jednotlivé členy tohoto vyrovnávání (alfa, gama, fi). Na základě vypočtených vah, již byly hodnoty vyrovnány. Z těchto nových vyrovnaných hodnot byly vypočítány otáčkové charakteristiky a poté byly vyneseny do grafu.

Charakteristiky variability vypočtené v tab. 21 vyjadřují, že i tato metoda přinesla určité vyrovnání naměřených hodnot.

8.6 Celkové zhodnocení vlastní části

V této práci bylo použito několik základních metod k vyrovnávání naměřených hodnot. Byly použity trendové funkce, prosté klouzavé průměry, vážené klouzavé průměry a exponenciální vyrovnávání.

Trendové funkce vhodné k proložení neupravených vstupních dat byly - polynomická funkce 6. stupně pro kroutící moment a kvadratická funkce pro výkon. Funkce byly zvoleny na základě nejvyšších korelačních koeficientů a koeficientů determinace.

Prosté klouzavé průměry byly vypočteny: z 3 naměřených hodnot, z 5 naměřených hodnot, ze 7 naměřených hodnot, z 9 naměřených hodnot a 21 naměřených hodnot. Tato metoda se ukázala jako účinná a lehce aplikovatelná. Určitou nevýhodou, ale může být citlivost na volba vhodné délky klouzavé části. S prodlužujícím se intervalem roste i pravděpodobnost ztráty významných hodnot. Proto je nutné volit délku klouzavé části dle povahy a rozsahu vstupních dat.

Vážená forma klouzavého průměru byla počítána z 3 naměřených hodnot. Výhodou oproti prostému klouzavému průměru je zohlednění polohy v čase. To hraje v našem případě značnou roli, jelikož se vzrůstajícími otáčkami klesá čas mezi jednotlivými měřeními. Proto je tato metoda poskytuje lepší výsledky než prosté klouzavé průměry.

Trojité exponenciální vyrovnávání se ukázalo také jako účinné. Nevýhodu této metody lze spatřit ve volbě vah (úrovně zastupující starší naměřená data), které jsou bez statistického softwaru náročné na výpočet.

Všechny použité metody přinesly určité vyrovnání naměřených hodnot. Nejvhodnější metodou pro vyrovnání naměřených dat jsou vážené klouzavé průměry. Toto rozhodnutí je na základě zjištěných vyrovnaných hodnot a vypočítané variability. Pokud bychom chtěli ještě přesnější a vyrovnanější hodnoty, bylo by vhodné zkusit kombinaci jednotlivých metod např. vážené klouzavé průměry a exponenciální vyrovnávání.

Tab. 22: Celkové zhodnocení použitých metod

METODY	variabilita (%)	
	výkon motoru	otáčky motoru
<i>neupravená data</i>	33,8258	40,1235
prosté klouzavé průměry	36,7335	28,0297
vážené klouzavé průměry	26,1817	35,1662
exponenciální vyrovnávání	30,6428	33,4802

Zdroj: vlastní zpracování

V grafu 14 jsou zobrazeny jednotlivé otáčkové charakteristiky získané zvolenými metodami. Porovnává – klouzavé prosté průměry, klouzavé vážené průměry a exponenciální vyrovnávání. Každá vypočítaná charakteristika je navíc proložena trendovou funkcí a je pro ni vypočítán koeficient determinace (R^2) – jedna z měř závislosti. V grafu byly pro snazší přehlednost použity barvy. Klouzavé průměry v prosté formě modrou barvou. Zelená barva zastupuje klouzavé průměry formy vážené. Fialová vyjadřuje exponenciální vyrovnávání.

Trendové funkce pro výkon

- Polynomická funkce 6. stupně pro výkonovou křivku vypočtenou z klouzavých prostých průměrů z 21 naměřených hodnot:

$$y = 2E-21x^6 - 8E-17x^5 + 1E-12x^4 - 8E-09x^3 + 3E-05x^2 - 0,0497x + 35,565$$

$$R^2 = 0,9978$$

- Polynomická funkce 6. stupně pro výkonovou křivku vypočtenou z klouzavých vážených průměrů z 3 naměřených hodnot:

$$y = 2E-21x^6 - 6E-17x^5 + 8E-13x^4 - 5E-09x^3 + 2E-05x^2 - 0,0292x + 18,707$$

$$R^2 = 0,9807$$

- Polynomická funkce 6. stupně pro výkonovou křivku vypočtenou z exponenciálního vyrovnávání:

$$y = 3E-21x^6 - 1E-16x^5 + 1E-12x^4 - 1E-08x^3 + 4E-05x^2 - 0,0651x + 43,087$$

$$R^2 = 0,9969$$

Trendové funkce pro točivý moment

- Polynomická funkce 6. stupně pro momentovou křivku vypočtenou z klouzavých prostých průměrů z 21 naměřených hodnot:

- $y = 3E-21x^6 - 1E-16x^5 + 2E-12x^4 - 1E-08x^3 + 4E-05x^2 - 0,0623x + 53,115$
 $R^2 = 0,993$

- Polynomická funkce 6. stupně pro momentovou křivku vypočtenou z klouzavých vážených průměrů z 3 naměřených hodnot:

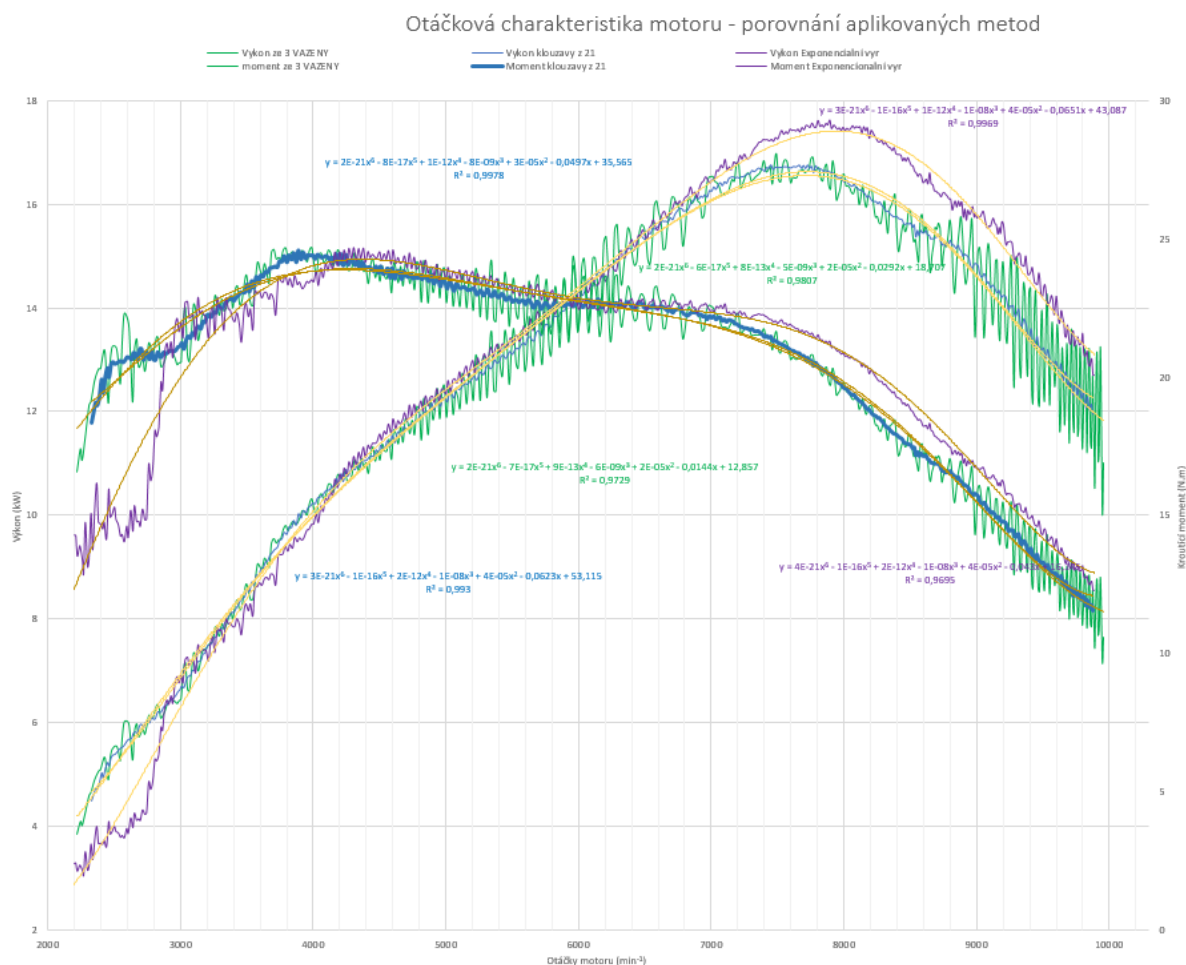
- $y = 2E-21x^6 - 7E-17x^5 + 9E-13x^4 - 6E-09x^3 + 2E-05x^2 - 0,0144x + 12,857$
 $R^2 = 0,9729$

- Polynomická funkce 6. stupně pro momentovou křivku vypočtenou z exponenciálního vyrovnávání:

- $y = 4E-21x^6 - 1E-16x^5 + 2E-12x^4 - 1E-08x^3 + 4E-05x^2 - 0,043x + 16,175$
 $R^2 = 0,9695$

U všech metod byla použita polynomická trendová funkce 6. stupně. Hodnoty míry závislosti vyšly u všech metod vysoké - blíží se 1, tedy zvolené trendové funkce jsou vhodné pro zobrazení otáčkových charakteristik.

Graf 14: Souhrnné porovnání aplikovaných metod



Zdroj: vlastní zpracování

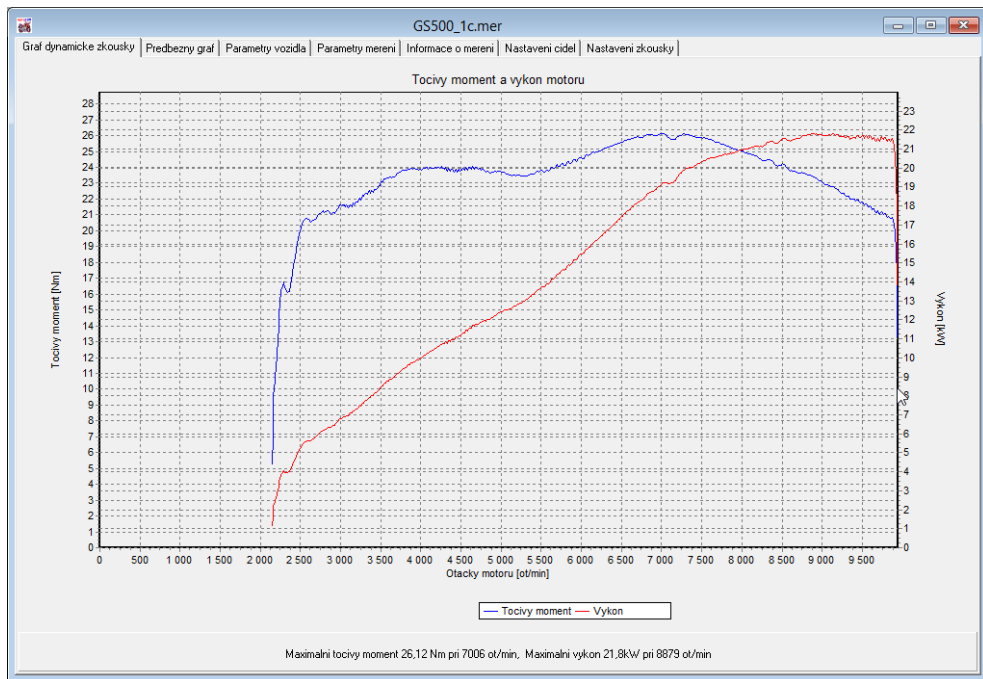
V grafu 15 je otáčková charakteristika z provedené dynamické zkoušky. Pomocí softwaru byl naměřen maximální výkon 21,8 kW při 8 879 otáčkách za minutu. U našich měření byl dosažen maximální výkon 17,52 kW při 7 924 otáčkách za minutu.

Rozdíl ve výsledcích měření je způsoben tím, že software využívá korekce z atmosférických podmínek a počítá se ztrátami v měřící soustavě.

Rozdíl oproti tabulkovým hodnotám výrobce je způsoben celkovým technickým stavem motocyklu, který již není uzpůsobitelný k provozu na pozemní komunikaci.

Změřená hodnota 17,52 kW je hodnota na zadním kole motocyklu. K přesnějšímu výpočtu by bylo potřeba zohlednit dobřovou zkoušku, ze které zjistíme ztráty v přenosu motor - kolo. Dobřová zkouška nebyla zohledněna při výpočtu z důvodu zaměření práce. Tato práce se zabývá úpravou a zpracováním naměřených dat.

Graf 15: Dynamická zkouška – MotoCOMTest



Zdroj: výstup z programu MotoCOMTest

9 Závěr práce

V této diplomové práci byla zmapována problematika měření na válcové zkušebně pro motocykly. Z odborné literatury jsou popsány jednotlivé metody a principy měření. Jsou zde popsány způsoby měření efektivního výkonu spalovacího motoru motocyklu. Součástí práce je přehled norem, které stanovují podmínky a technické provedení zkoušek, za kterých se provádí měření.

V práci jsou popsány měřené fyzikální veličiny a metodika měření, které jsou nutné k sestavení výkonových křivek spalovacího motoru. Je zde i porovnání válcových zkušeben pro motocykly, které jsou nabízeny na českém trhu. Jedná se o dva zahraniční a dva domácí výrobce. U jednotlivých zkušeben jsou popsány technické parametry.

Metody zpracování jsou zaměřeny na úpravu naměřených dat, tak aby byly vhodné k výpočtu výkonových parametrů. Samotné měření probíhalo na válcové zkušebně společnosti MotoCOMTest v Kolíně. Zkouška probíhala dynamickou metodou. Na naměřená data byly aplikovány matematicko-statistické metody, pomocí kterých jsme je upravovali do formátu vhodného k sestavení otáčkové charakteristiky. Byly použity metody prostých klouzavých průměrů, vážených klouzavých průměrů a exponenciálního vyrovnávání. Všechny použité metody přinesly určité vyrovnání naměřených hodnot. Nejvhodnější metodou pro vyrovnání naměřených dat jsou vážené klouzavé průměry. Toto rozhodnutí je stanoveno na základě zjištěných vyrovnaných hodnot a vypočítané variability. Na základě aplikace jednotlivých metod jsme zjistili jejich chování za určitých podmínek, ale také jejich přednosti a nedostatky. Na základě těchto získaných informací bychom mohli ve zkoumání pokračovat a jednotlivé metody navzájem kombinovat s cílem nalézt optimální kombinaci metod.

10 Seznam tabulek

Tab. 1: Rozdělení metod měření výkonu

Tab. 2: Technické parametry zkušebny Land and Sea

Tab. 3: Technické parametry Dynojet-200i

Tab. 4: Technické parametry zkušebny Diag4Bike

Tab. 5: Technické parametry MotoCOMTest

Tab. 6: Neupravená data před vyfiltrováním

Tab. 7: Důsledek duplicit – dělení nulou

Tab. 8: Upravená data po vyfiltrování duplicit

Tab. 9: Ukázka výpočtu akcelerace

Tab. 10: Výpočet kroutícího momentu

Tab. 11: Ukázka výpočtu akcelerace z dat naměřených na motoru

Tab. 12: Prosté klouzavé průměry z 3 naměřených hodnot

Tab. 13: Prosté klouzavé průměry z 9 naměřených hodnot

Tab. 14: Prosté klouzavé průměry z 21 naměřených hodnot

Tab. 15: Celkové zhodnocení klouzavých prostých průměrů

Tab. 16: Vážené klouzavé průměry z 3 naměřených hodnot

Tab. 17: Celkové zhodnocení klouzavých vážených průměrů

Tab. 18: Mřížkové hledání parametrů Alfy, Gamy a Fí (výřez z celkového mřížkového hledání)

Tab. 19: Výsledky trojitého exponenciálního vyrovnávání

Tab. 20: Ukázka vyrovnaných hodnot kroutícího momentu pomocí trojitého exponenciálního vyrovnávání z programu Statistica 12 (pouze výřez)

Tab. 21: Hodnocení exponenciálního vyrovnávání

Tab. 22: Celkové zhodnocení použitých metod

11 Seznam grafů

Graf 1: Průběh měření dynamické zkoušky z programu MotoCOMTest

Graf 2: Průběh výkonu během zaznamenaného měření

Graf 3: Vývoj rychlosti při dynamické zkoušce

Graf 4: Výřez dynamické zkoušky

Graf 5: Výsledný graf dat naměřených z čidel na motoru

Graf 6: Neupravená vstupní data

Graf 7: Prosté klouzavé průměry z 3 naměřených hodnot

Graf 8: Prosté klouzavé průměry z 9 naměřených hodnot

Graf 9: Prosté klouzavé průměry z 21 naměřených hodnot

Graf 10: Vážené klouzavé průměry z 3 naměřených hodnot

Graf 11: Vážené klouzavé průměry z 3 naměřených hodnot

Graf 12: Vyrovnávání hodnot kroutícího momentu pomocí trojitého exponenciální vyrovnávání

Graf 13: Trojitě exponenciální vyrovnávání

Graf 14: Souhrnné porovnání aplikovaných metod

Graf 15: Dynamická zkouška – MotoCOMTest

12 Seznam obrázků

Obr. 1: Zařízení pro záznam p-V diagramu

Obr. 2: p-V diagram

Obr. 3: Pronyho třecí brzda

Obr. 4: Princip Hallova snímače

- Obr. 5: Indukční senzor otáček
- Obr. 6: Sinusový signál z indukčního čidla
- Obr. 7: Optoelektronický snímač otáček
- Obr. 8: Teplota motoru
- Obr. 9: Tlak vzdušných par
- Obr. 10: Závislost tlaku na nadmořské výšce
- Obr. 11: Energetická bilance motoru
- Obr. 12: Deformační členy na hřídeli
- Obr. 13: Vnější otáčková charakteristika zážehového motoru
- Obr. 14: Indukční kleště
- Obr. 15: Senzor otáček klikové hřídele
- Obr. 16: Senzor teploty
- Obr. 17: Elektrický odpor čidla v závislosti na teplotě
- Obr. 18: Umístění čidla teploty v sání
- Obr. 19: Měřící stolice spalovacího motoru
- Obr. 20: Válcová zkušebna pro motocykly
- Obr. 21: Porovnání valivého odporu s kolem na válcové zkušebně
- Obr. 22: Uchycení motocyklu
- Obr. 23: Poloha zadního kola na válci
- Obr. 24: Valivý odpor
- Obr. 25: Blokové schéma zkušebního procesu
- Obr. 26: Detail protiskuzové úpravy povrchu válce
- Obr. 27: Válcová zkušebna základní model

Obr. 28: Dynojet – uspořádání válce a vířivé brzdy

Obr. 29: Válcová zkušebna Diag4bike

Obr. 30: Detail měření a chlazení zadní pneumatiky

Obr. 31: Blokové schéma modulu MCPU-01

Obr. 32: Ukázka záznamu naměřených dat

Obr. 33: Popis formátu zápisu dat

13 Použité zdroje

- [1] ŠKORPÍK, J.: *Termodynamický návrh pístového parního motoru*, Transformační technologie [online]. 2012. vyd. Brno [cit. 2015-02-02]. ISSN 1804-8293. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/termodynamicky-navrh-pistoveho-parniho-motoru.html>.
- [2] *Zapisovač polohy pístu a tlaku* [online]. [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: www.oldengine.org/members/diesel/Indicator/Indicator1.htm
- [3] *Pronyho brzda* [online]. [cit. 2015-01-17]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/uzitecnetabulky/pronyho-brzda.htm>
- [4] STODOLA, J.: *Diagnostika motorových vozidel*. Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2003, 288 s
- [5] KOČÍ, P.: *Diagnostika a testování automobilů: učební text: studijní materiály pro studijní program Mechatronika*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2609-7.
- [6] *Optoelektronický snímač otáček* [online]. [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/encodery>
- [7] ATKINS, R., D.: *An introduction to engine testing and development*. Warrendale, Pa.: SAE International, c2009, xv, 289 p. ISBN 0768020999.
- [8] MARTYR, A. J., PLINT, AM.: *Engine testing theory and practice*. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 9780750684392.
- [9] PEXA, M. *Metody měření provozních parametrů* [online]. [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: http://tf.czu.cz/~pexa/Predmety/TD/Prednasky/4p_TechDiag.pdf
- [10] *Tlak vzdušných par* [online]. [cit. 2015-01-24]. Dostupné z: <http://www.conservaionphysics.org/intro/fundamentals.php>
- [11] *Závislost tlaku na nadmořské výšce* [online]. [cit. 2015-02-26]. Dostupné z: <http://fyzweb.mff.cuni.cz/odpovedna/index.htm>

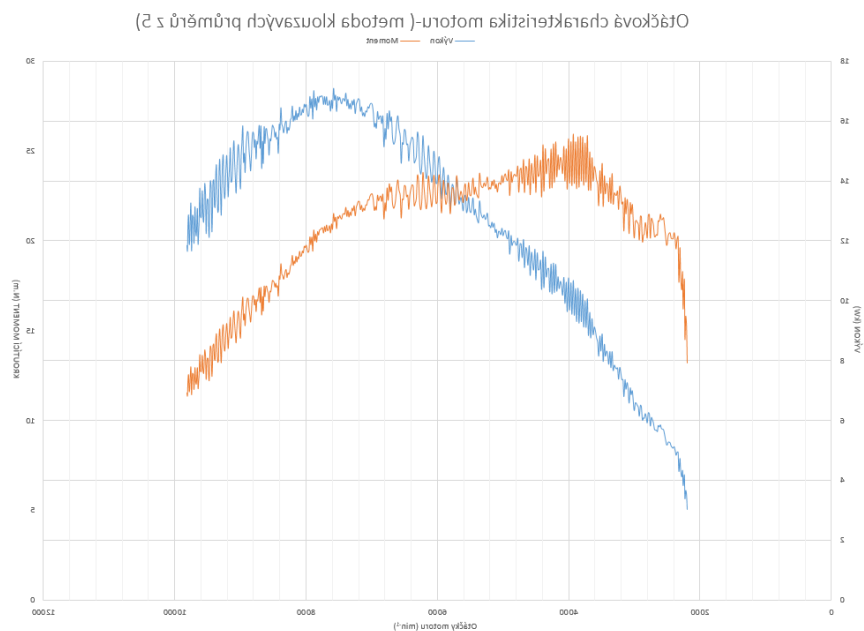
- [12] *Koňská síla* [online]. [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: http://sizes.com/units/horsepower_british.htm
- [13] VLK, F.: *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*, Nakladatelství a vydavatelství vlk, Brno, 2001, ISBN 80-238-6573-0
- [14] STODOLA, J.: *Spolehlivost a diagnostika*. Učebnice vysokých škol. VA Brno, 1995, U-248
- [15] RAUCHNER, J.: *Spalovací motory*. Studijní opory VUT v Brně, 2005.
- [16] *Indukční kleště* [online]. [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: <http://www.jb-elektronik.cz/hvc95.php>
- [17] *Senzor otáček klikové hřídele* [online]. [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/zkratky-systemu-motocyklu-4376.html>
- [18] *Senzor teploty* [online]. [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.diag4bike.cz/hd/tuning-motoru/smart-power-bench.html>
- [19] *Měření teploty - polovodičové odporové senzory teploty* [online]. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>
- [20] *Umístění čidla teploty v sání* [online]. [cit. 2015-01-06]. Dostupné z: <http://www.advrider.com/forums/showthread.php?t=603151>
- [21] PEXA, M.: *Disertační práce - Možnosti uplatnění dynamických měření při diagnostice motorových vozidel*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2005.
- [22] *DYNO mite* [online]. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: <http://www.land-and-sea.com/motorcycle-dyno/motorcycle-dyno.htm>
- [23] *Poloha zadního kola na válci* [online]. [cit. 2014-10-27]. Dostupné z: <http://www.diag4bike.cz/data/bezpecnostni-pokyny-spb-2-eu-cz.pdf>
- [24] *Valivý odpor* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.motocom.cz/mereni2.htm>

- [25] *Válcová zkušebna MotoCOMTest* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.motocom.cz/produkty.htm>
- [26] *Válcová zkušebna Dynojet* [online]. [cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://dynojet.com/>
- [27] *Dynojet - uspořádání válce a vířivé brzdy* [online]. [cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://www.dynojet.com/Products/Dynamometers/DynoModel200i/Dynojet-dynamometer-200i.aspx>
- [28] *Detail měření a chlazení zadní pneumatiky* [online]. [cit. 2015-02-13]. Dostupné z: <http://www.diag4bike.cz/hd/tuning-motoru/smart-power-bench.html>
- [29] *Blokové schéma modulu MCPU-01* [online]. [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.elsaco.cz/download/pdf/mmcpu01.pdf>
- [30] CIPRA, T.: *Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii*. Bratislava: SNTL, Praha a ALFA, 1986.
- [31] HINDLS, R. a kol.: *Statistika pro ekonomy*. 8. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007, 415 s. ISBN 978-80-86946-43-6.
- [32] SVATOŠOVÁ, L., KÁBA, B.: *Statistické metody II*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2008, 107 s. ISBN 978-80-213-1736-9.
- [33] *Exponenciální vyrovňování* [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://iastat.vse.cz/casovky/casovky7.htm>

14 Přílohy

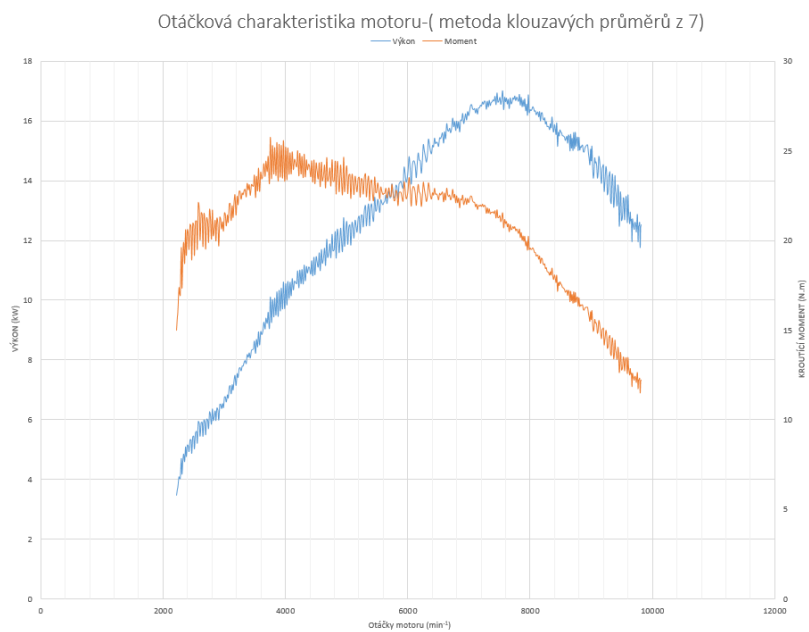
Příloha č. 1: Grafy prostých klouzavých průměrů z 5 a 7 naměřených hodnot

Graf I: Prosté klouzavé průměry z 5 hodnot



Zdroj: vlastní zpracování

Graf II: Prosté klouzavé průměry ze 7 naměřených hodnot



Zdroj: vlastní zpracování