

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních technologií a spojů

Optimalizace výkonových parametrů dvoutaktního motoru

Vojtěch Šturm

Bakalářská práce

2010

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Vojtěch ŠTUMR
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky-Silniční vozidla
Název tématu: Optimalizace výkonových parametrů dvoutaktního motoru
Zadávací katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

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

1. Úvod
2. Teoretický rozbor dvoutaktního motoru
3. Časová plocha - poznatky
3. Optimalizace spalovacího procesu (varianty předstihu a bohatosti směsi) - použité zařízení IMF Soft
4. Experimentální měření a zhodnocení výsledků
5. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

JENNINGS, Gordon. Two-stroke TUNER'S HANDBOOK. Tuscon: HP Books, 1986. ISBN 0912656417

BELL, A. Graham. Two Stroke Performance Tuning. Sparkford: Haynes Publishing, 1999. ISBN 0859606199

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Stanislav Gregora, Ph.D.

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: 26. února 2010

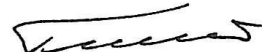
Termín odevzdání bakalářské práce: 31. května 2010



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 28.5.2010

Vojtěch Šturm

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Doc.Ing. Stanislavu Gregorovi, PhD. za cenné rady při koncipování a sepisování mé práce.

Děkuji Ing. Zdeňku Maškovi za všestrannou a obětavou pomoc při realizaci praktické části mé práce.

Děkuji panu Danielu Tlustošovi a dalším pracovníkům školní dílny za pomoc při výrobě součástí, bez kterých bych nemohl svoji práci realizovat.

Děkuji mým rodičům za podporu během mého studiu a za cenné rady a připomínky do mé závěrečné práce.

ANOTACE

Práce je věnována studiu vybraných faktorů, které mají vliv na otáčkovou charakteristiku dvoutaktního motoru. Jde především o délku výfukového potrubí, hlavní trysku a velikost předstihu zapalování. Zapalování palivové směsi bylo optimalizováno pomocí elektronického zapalování. Pozornost byla věnována také ověření správnosti a reprodukovatelnosti měření použité motorové brzdy.

KLÍČOVÁ SLOVA

otáčková charakteristika, dvoudobý motor, elektronické zapalování, palivová směs

ANNOTATION

Bachelor thesis is focused on selected factors, which affect power curve of the two stroke engine. It's mainly about the length of exhaust pipe, main jet and the spark advance. Spark advance was optimized by electronic ignition. Attention was paid to verify the correctness and reproducibility of measurement used for the engine brake.

KEYWORDS

power curve, two stroke engine, electronic ignition, fuel mixture

OBSAH

| | |
|--|----|
| Úvod | 8 |
| Seznam zkratk | 9 |
| 1. Teoretická část | 10 |
| 1.1. Teoretický rozbor dvoutaktního motoru | 10 |
| 1.1.1. Příprava palivové směsi | 10 |
| 1.1.2. Zapalování | 11 |
| 1.1.3. Ostatní | 12 |
| 1.2. Časová plocha – poznatky | 12 |
| 1.3. Teoretické základy měření otáčkové charakteristiky motoru | 14 |
| 2. Praktická část | 17 |
| 2.1. Použitá zařízení | 17 |
| 2.1.1. Motorová brzda | 17 |
| 2.1.2. Elektronické zapalování IMF Soft | 18 |
| 2.1.3. Stroboskop | 19 |
| 2.2. Použitý SW | 19 |
| 2.2.1. Ignition control V 6.6 | 19 |
| 2.2.2. Ovladač motorové brzdy | 20 |
| 2.2.3. Hyaline | 21 |
| 2.3. Použité postupy měření | 21 |
| 2.3.1. Statická zkouška | 21 |
| 2.3.2. Dynamická zkouška | 21 |
| 2.4. Reprodukovatelnost měření na brzdě | 22 |
| 2.4.1. Porovnání měření | 22 |
| 2.4.2. Test reprodukovatelnosti | 27 |
| 2.5. Experimentální měření | 30 |
| 2.5.1. Základní údaje motoru | 30 |
| 2.5.3. Nastavení karburátoru | 32 |
| 2.5.4. Závislost výkonové charakteristiky na předstihu | 35 |
| 2.5.5. Návrh křivky předstihu v závislosti na otáčkách motoru | 38 |
| 3. Výsledky | 40 |
| 4. Závěr | 41 |
| Seznam použité literatury | 42 |

Úvod

Mezi mé záliby patří technické aspekty spalovacích motorů. Předmětem mého největšího zájmu jsou především maloobjemové dvoutaktní motocyklové motory. Výzvou mi je zvýšení výkonu a točivého momentu. Smyslem je dosahovat pravidelně co nejlepších výsledků v motocyklových soutěžích, kterých se se svými přáteli účastním.

Cesta ke zlepšení výkonové charakteristiky dvoutaktního motoru má následující podmínky:

- mít vhodný motor
- mít možnost objektivního a reprodukovatelného měření charakteristik (dostupnost měření na dobré motorové brzdě)
- mít technické zázemí
- disponovat dostatečnými teoretickými znalostmi
- mít aktuální přehled o stavu techniky, možnostech výrobců příslušenství, přehled a kontakty na výrobce a další.

Impulesem pro tuto práci bylo pro mě zjištění, že škola disponuje motorovou brzdou. Mnoho času jsem věnoval konstrukci a výrobě speciálního rámu k upevnění motoru při měření, systém pohonu dynamometru a v neposlední řadě optimalizaci funkčnosti celé brzdy.

Seznam zkratek

| | |
|-----------------|--|
| HT | hlavní tryska |
| HÚ | horní úvrat' |
| 2T | dvoutaktní motor |
| M | točivý moment motoru [Nm] |
| M _P | pasivní odpory [Nm] |
| J _V | moment setrvačnosti měřicího válce [kg.m ²] |
| J _R | moment setrvačnosti všech rotujících součástí motoru a řevodového ústrojí vzhledem k ose měřicího válce [kg.m ²] |
| ε | úhlové zrychlení válce [rad/s ²] |
| ī _C | celkový převod motor – měřicí válec |
| P | výkon [kW] |
| n _P | otáčky motoru při maximální hodnotě výkonu [min ⁻¹] |
| n _M | otáčky motoru při maximální hodnotě točivého momentu [min ⁻¹] |
| n | otáčky [min ⁻¹] |
| λ | hodnota hmotnostního poměru paliva a vzduchu |
| V _M | objem motoru [cm ³] |
| α _{OK} | úhel otočení klikového hřídele při otevření kanálu – časování [°] |
| S _H | hlavní plocha (plocha při polovičním úhlovém otevření kanálu) [cm ²] |
| S _Č | časová plocha [° .cm ² .cm ⁻³] |
| SW | software |

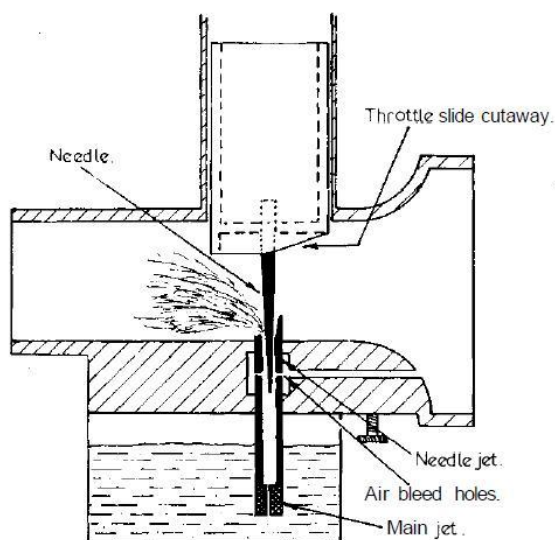
1. Teoretická část

1.1. Teoretický rozbor dvoutaktního motoru

Použití dvoutaktních motorů je v dnešní době omezené z důvodu jeho emisí. Setkáváme se s nimi u maloobjemových motocyklů, motocyklů – veteránů, zahradní techniky a lodních motorů. U maloobjemových motocyklů je tento druh motoru velmi vyhledávaný díky jeho jednoduchosti. U motocyklů – veteránů je tento druh motoru nejrozšířenější.

1.1.1. Příprava palivové směsi

Většina dvoutaktních motorů používá k přípravě směsi karburátor, výjimečně vstříkování. Při seřizování karburátoru je snahou optimalizovat poměr vzduchu a paliva a přiblížit se stechiometrickému poměru ($\lambda = 1$). Podtlak, který vzniká v sacím potrubí, odsává z plovákové komory palivo. Průtok paliva je dán průměrem HT. Optimalizace směsi se provádí vhodnou volbou průřezu HT, čímž se snižuje/zvyšuje průtok paliva.

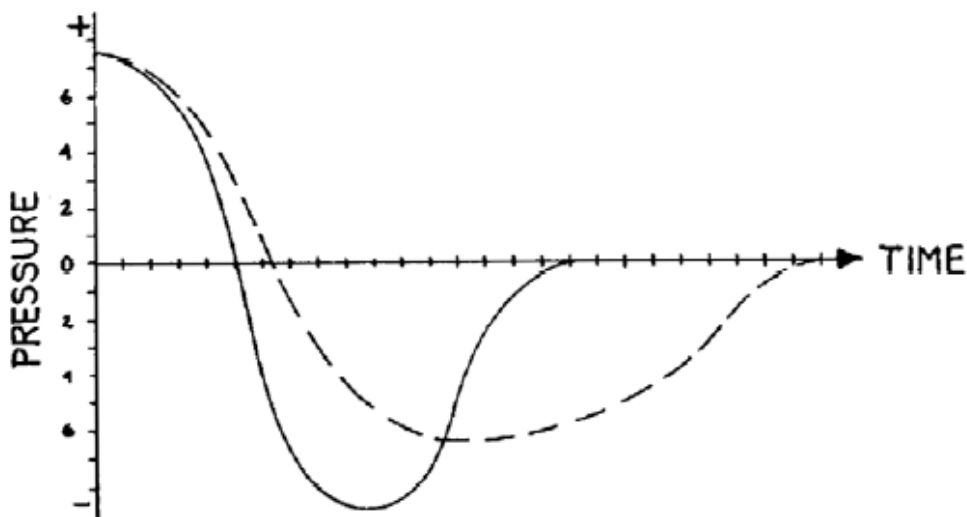


Obr. č.1.1 – schéma principu činnosti karburátoru

Legenda k obr. č.1.1 : Needle – jehla; Throttle slide cutaway – sražení čelní strany šoupátka; Needle jet – tryska ovládaná jehlou; Air bleed holes – otvory pro přístup vzduchu při volnoběhu; Main jet – hlavní tryska

1.1.2. Zapalování

Správný okamžik zapálení směsi se podílí velkou měrou na výkonu motoru. U dvoutaktních motorů je hodnota předstihu velmi specifickou veličinou, protože s rostoucími otáčkami motoru se jeho hodnota zmenšuje. Při rostoucích otáčkách se však nezohledňuje zkracující se doba cyklu a nutnost zažehnout směs dříve z důvodu dostatečného prohoření ve vhodný okamžik



Obr. č.1.2 – rychlost pulsace

Využívá se vznikající pulsace ve výfukovém potrubí k vrácení uniklé směsi z válce zpět do spalovacího prostoru. Předstih ovlivňuje teplotu výfukových plynů a jejich rychlost. Při vyšší rychlosti výfukových plynů dochází k dřívějšímu vracení zpětné vlny, čímž se zvětšuje použitelný rozsah výfuku. Tento efekt má na výkon motoru příznivější vliv než předčasné zapálení směsi.

1.1.3. Ostatní

Mezi důležité komponenty ovlivňující účinnost dvoutaktního motoru patří výfukový a sací systém. Podíl výfukového potrubí na výkonu je až 30% a na jeho optimalizaci jsou kladeny přísné požadavky. Důležitost vhodné pulsace je patrná i z jejího využití při optimalizaci předstihu. Stejný princip pulsace je využíván při optimalizaci sacího traktu. Jeho vliv na výkon motoru není v takové míře jako u výfukového traktu, ale při nedodržení základních požadavků může být jeho vliv velmi negativní.

1.2. Časová plocha – poznatky

Vznik výpočtu časové plochy je výsledkem snahy o návrh motoru jinou, než experimentální metodou. Předmětem výpočtů jsou sací, přepouštěcí a výfukové kanály ve válci. Na základě zkušeností a poznatků vznikly doporučené hodnoty časové plochy pro zvolenou charakteristiku motoru. Časová plocha má základ v úhlovém otevření kanálu, hlavní ploše kanálu a v obsahu motoru.

$$S_C = \frac{\alpha_{OK} \cdot S_H}{V_M} \quad (1)$$

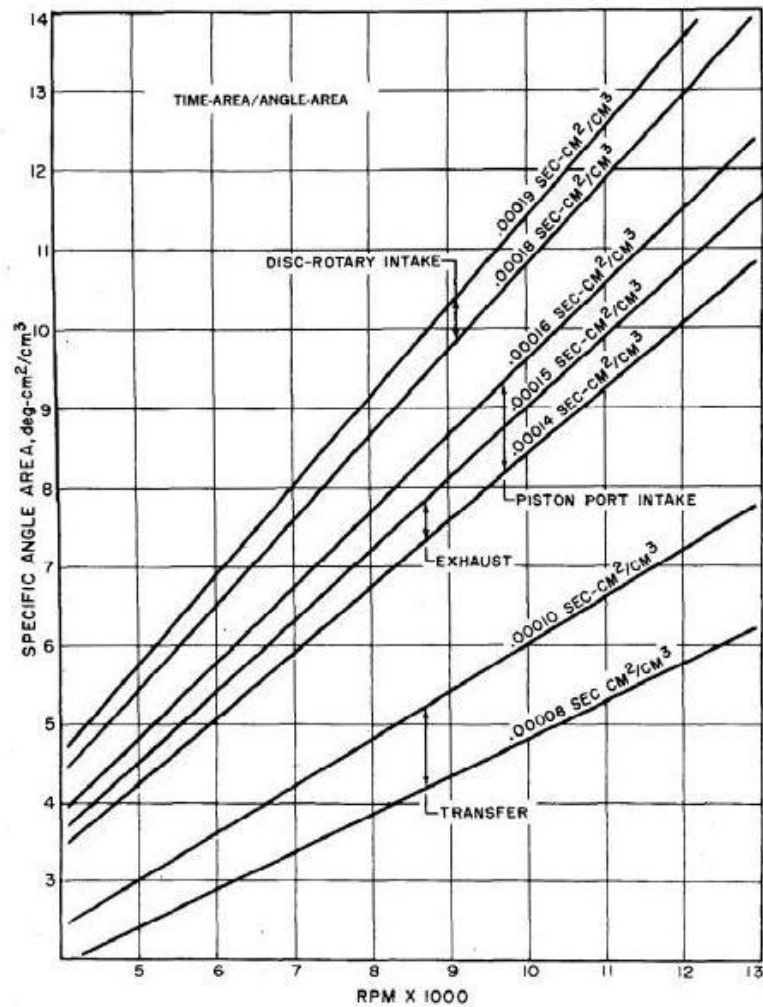
S_C – časová plocha [$^{\circ} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$]

α_{OK} – poloviční úhel otočení klikového hřídele při otevření kanálu (v zadném zdvihu) [$^{\circ}$]

S_H – hlavní plocha (plocha otevřeného kanálu při úhlu α_{OK}) [cm^2]

V_M – objem motoru [cm^3]

Výsledná hodnota je porovnána s doporučenými hodnotami (viz obr. č. 1.3) a podle požadavků je zvolen přístup k optimalizaci kanálu. Ze vzorce je patrné, že na výslednou hodnotu časové plochy mají vliv dva důležité faktory – časování kanálu a jeho plocha. Požadovaného výsledku lze dosáhnout změnou jednotlivých veličin nebo obou současně. Při provedení optimalizace obou veličin vzniká problém v podobě obtížného sledování změn jednotlivých veličin.



Obr. č. 1.3 – doporučené hodnoty

Legenda k obr. č. 1.3:

Transfer – přepouštěcí kanál; Exhaust – výfukový kanál; Piston port intake -sací kanál ovládaný pístem; Disc rotary intake – sací kanál ovládaný rotačním šoupátkem

Při výpočtu časové plochy je však zanedbána charakteristika motoru. Pro podčtvercové, čtvercové a nadčtvercové motory platí jiná pravidla - rozměry a časování kanálů jsou velmi odlišná. Tyto výpočty vznikly při vývoji maloobjemových závodních motorů, které využívají čtvercovou a podčtvercovou charakteristiku motoru. Při aplikaci výpočtů na nadčtvercový motor vznikají odchylky od skutečných hodnot.

Metoda výpočtu časové plochy je určena pro laboratorní vývoj válců 2T motorů. V praxi se častěji setkáváme s úpravou kanálů (převážně sacího a výfukového) na základě zkušeností a ověřených postupů. Při optimalizaci výkonových parametrů motoru předchází výpočtům časové plochy úprava sacího a výfukového systému.

1.3. Teoretické základy měření otáčkové charakteristiky motoru

Měření otáčkové charakteristiky u spalovacích motorů je nedílnou součástí při jejich vývoji, snižování spotřeby, snižování emisí a v neposlední při jejich úpravě za účelem zvyšování výkonu.

Měřicí zařízení:

- válcová brzda
- motorová brzda

Válcová brzda:

Válcová brzda je nejrozšířenější měřicí zařízení používané pro měření otáčkové charakteristiky motoru, která umožňuje provádění dynamické zkoušky. Principem měření je snímání zrychlení válce o určitém momentu setrvačnosti, ze kterého se počítá točivý moment motoru M . Pro správné určení momentu motoru je velmi důležité znát přesný moment setrvačnosti měřicího válce a jeho zrychlení.



Obr.č.1.3 – válcová brzda

Vozidlo je hnacími koly umístěno na měřicí válec a zajištěno. U motocyklů je navíc provedeno stažení k měřicímu válci z důvodu možného prokluzu kola.

Motorová brzda:

Princip a účel měření otáčkové charakteristiky na motorové brzdě je stejný jako na válcové. U motorové brzdy, kdy je motor přímo spojen s měřícím válcem ze značné části odpadávají pasivní odpory, které způsobují nepřesnosti při měření. Motorová brzda se využívá pro laboratorní účely z důvodu nutnosti vyjmutí motor z příslušného vozidla.



Obr. č.1.4 – motorová brzda

Propojení motoru s měřícím motorem je realizováno hnacím hřídelem (automobilové motory) nebo řetězem (motocyklové motory).

Měřící postupy:

- statická zkouška
- dynamická zkouška

Statická zkouška:

Statická zkouška se provádí v ustáleném režimu motoru, kdy brzdný moment, který je roven aktuálnímu točivému momentu motoru, je vyvolán dynamometrem. Měřena je celé otáčková charakteristika motoru po určitých otáčkových krocích. Dynamometrem vyvolaný brzdný moment ustálí motor v příslušných otáčkách pro provedení několik měření. Měření točivého momentu v ustáleném režimu motoru je hlavní rozdíl oproti dynamické zkoušce. Při ustáleném režimu nemají na měření vliv přechodové stavy motoru vzniklé jeho rychlou akcelerací. Statická zkouška se používá pro detailní měření určitých otáček motoru.

Dynamická zkouška:

Princip dynamické zkoušky je založen na měření zrychlení měřícího válce o známém momentu setrvačnosti. Vozidlo poháněnými koly roztáčí válec a uděluje mu zrychlení v závislosti na otáčkové charakteristice jeho motoru. Z naměřených hodnot zrychlení je pak spočítán točivý moment motoru M .

$$M = \frac{M_p + (J_v + J_r) \cdot \varepsilon}{i_c} \quad (2)$$

M_p – pasivní odpory [Nm] – určení pasivních odporů se provádí doběhovou zkouškou

J_v – moment setrvačnosti měřícího válce [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

J_r – moment setrvačnosti všech rotujících součástí motoru a převodového ústrojí [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

ε – úhlové zrychlení válce [rad/s^2]

i_c – celkový převod motor \rightarrow měřící válec

Důležitým faktorem při dynamické zkoušce jsou momenty setrvačnosti měřícího válce a rotačních částí motoru, protože malou odchylkou vznikají velké nepřesnosti při výpočtech točivého momentu a výkonu.

2. Praktická část

2.1 Použitá zařízení

2.1.1 Motorová brzda

Experimentální měření bylo prováděno na válcové brzdě, která vznikla jako diplomová práce Ing. Maška (Mašek Z: Programové řízení dynamometru pro zkoušení pohonu vozidel, diplomová práce, Pardubice 2005).

Mojí myšlenkou bylo přeměnit válcovou brzdu na motorovou s využitím druhého výstupního hřídele dynamometru. Na příslušný hřídel jsem pak zkonstruoval a ve spolupráci se školními dílnami vyrobil náboj s osazením pro řetězové kolo. Náboj je univerzální a lze jej osadit jakýmkoliv řetězovým kolem.



Obr. č. 2.1 – náboj



Obr.č. 2.2 – řetězové kolo



Obr. č. 2.3 - sestava

Pro motor jsem vyrobil speciální nosnou konstrukci, která umožňuje jejím natáčením napínání řetězu.



Obr. č. 2.4 – speciální rám pro motor

Přeměnou válcové brzdy na motorovou brzdou bylo dosaženo nižších ztrát při přenosu výkonu. Byly tak eliminovány citlivé prvky jako pneumatika a její nahuštění a stažení motocyklu k rámu.

2.1.2. Elektronické zapalování IMF Soft

Pro optimalizaci předstihu v závislosti na otáčkách motoru jsem zvolil elektronické zapalování Jawa – CZ - Trabant Ignition V4.2 (výrobce IMF Soft Ostrava). Jako nosnou konstrukci zapalování jsem použil klec pro uchycení původního kontaktního zapalování. Pro snadnější nastavování jsem vyrobil pod zapalování desku s možností jeho natáčení. Uchycení clonky je provedeno na upravené náhradě vačky.



Obr. č. 2.5 – kit zapalování IMF Soft



Obr. č. 2.6 – nosná deska



Obr. č. 2.7 - sestava

2.1.3. Stroboskop

Měření předstihu bylo prováděno pomocí stroboskopu (výrobce SINCRO, typ $\mu G2$) s funkcemi:

- zobrazení otáček motoru
- zobrazení aktuální hodnoty předstihu
- vysílání paprsku při zážehu.



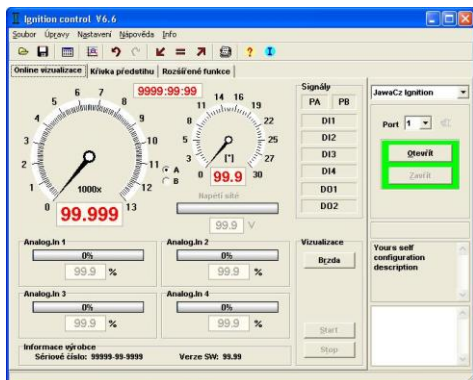
Obr. č. 2.8 - stroboskop

2.2. Použitý SW

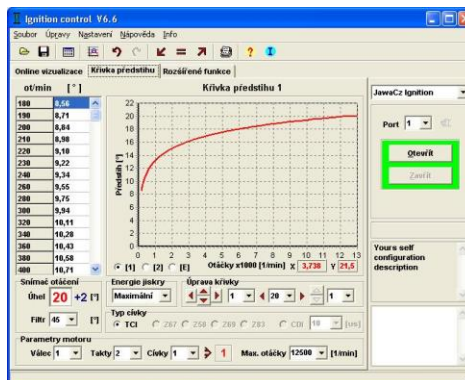
K vypracování mé práce jsem použil textový editor MS Word 2003 a tabulkový procesor MS Excel 2003. Obojí jako součást MS Office 2003.

2.2.1. Ignition control V 6.6

Program určený k obsluze zapalování IMF Soft. Zapalování komunikuje s PC pomocí portu RS 232. Program umožňuje online vizualizaci nastavení při běhu motoru. Pro modelování křivky předstihu je k dispozici tabulkový editor s možnostmi upravování křivky.



Obr. č. 2.9 – Ignition control V 6.6



Obr. č. 2.10 – Ignition control V 6.6

2.2.2. Ovladač motorové brzdy

K obsluze motorové brzdy a vyhodnocování naměřených hodnot jsem používal školní SW, autor Ing. Mašek. Program zpracovává údaje z terminálu a zobrazuje je v grafech. Umožňuje nastavení veškerých parametrů převodového ústrojí pro získání celkového převodu. Zohledněn je moment setrvačnosti motoru a kola, který lze dle empirických hodnot nastavit. Pro úpravu grafů jsou dostupné funkce:

- filtrace
- rozsah výkonu
- rozsah točivého momentu
- rozsah otáček.

Při měření jsou data zobrazována online a minimální a maximální otáčky motoru, ve kterých bude probíhat měření, lze nastavit. Získání grafu je podmíněno provedením tří měření, protože zobrazený graf je jejich průměrem. Tím se dosahuje lepší přesnosti. Zobrazit a porovnat lze dva grafy.

The screenshot shows the BrzdaDyn software interface. It is divided into several sections:

- Parametry motocyklu:** A grid of input fields for various parameters:
 - Poloměr kola [cm]: 7.00000
 - Účinnost motor-kolo [-]: 1.00000
 - Primární převod [-]: 2.42900
 - Účinnost kolo-válec [-]: 1.00000
 - Sekundární převod [-]: 5.50000
 - Hmotnost vozidla [kg]: 0.00000
 - Zařazený převod [-]: 1.00000
 - Max. rychlost vozidla [km/h]: 200.000C
 - Moment setrvačnosti motoru [kgm²]: 0.00000
 - Minimální otáčky motoru [1/min]: 3000.00C
 - Moment setrvačnosti kola [kgm²]: 0.00000
 - Maximální otáčky motoru [1/min]: 10000.0C
- Graf:** Settings for the data graph:
 - Koef. filtrace [%]: 15
 - Buttons for graph selection: Graf1 (selected), Graf2
 - Buttons for graph actions: Vymaž, Průměr, Ztráty
 - Checkbox: Výsledný průběh se zahrnutím ztrát (checked)
 - Buttons: Aktualizuj grafy, Srovnaj průměry
- Real-time Data:** Two large digital displays showing:
 - Otáčky [1/min]: 0
 - Rychlost [km/h]: 0
- Parametry zkoušky:** Test parameters:
 - Počáteční otáčky [1/min]: 4000
 - Koncové otáčky [1/min]: 9000
 - Buttons: SPUSTIT, Uložt data do souboru
- COM Port:** COM1
- Status:** SPOJENI OK

Obr. č. 2.11– BrzdaDyn

2.2.3. Hyaline

SW aplikace umožňující zachycení obrazu, který je následně převeden do poloprůhledné formy. Takto upraveným obrazem je možné překrýt jiný a provést porovnání. Tento program jsem využil pro porovnání grafů, které nelze v ovládacím programu vyvolat a otevřít.

2.3. Použité postupy měření

Oba typy zkoušek mohou být prováděny na zmíněných typech měřících brzd.

2.3.1 Statická zkouška

Při provádění statické zkoušky je vozidlo umístěné na měřícím válci uvedeno do pohybu a po dosažení potřebné rychlosti je zařazen přímý převod. Motor je uveden do stavu plné zátěže. Dynamometr vyvolá brzdny moment odpovídající stávajícímu momentu motoru a zamezí tak jeho akceleraci. Otáčky motoru jsou regulováním brzdneho momentu ustáleny na potrebnou hodnotu. Při ustálených otáčkách motoru jsou pak provedena měření. Podle zvolených otáčkových kroků dynamometr reguluje brzdny moment a provede příslušná měření od minimálních do maximálních otáček motoru. pro zjištění pasivních odporů je provedena doběhová zkouška.

Během statické zkoušky je nutné zajistit potřebné chlazení motoru z důvodu dlouhé doby setrvání v plné zátěži.

2.3.2. Dynamická zkouška

Pro měření otáčkové charakteristiky při dynamické zkoušce jsou zvoleny minimální a maximální otáčky motoru, ve kterých bude probíhat měření. Vozidlo je na měřícím válci uvedeno do pohybu a po dosažení potřebné rychlosti je zařazen přímý převod. Pro zahájení měření je motor uveden do otáček nižších než zvolené minimum a následně je uveden do plné zátěže. Měření probíhá automaticky po překročení příslušné hranice minimálních otáček a ukončí se po dosažení maximálních. Součástí každé dynamické zkoušky je provedení doběhové zkoušky. Dynamická zkouška trvá okolo 10s a motor nevyžaduje dodatečné chlazení.

2.4. Reprodukovatelnost měření na brzdě

2.4.1. Porovnání měření

Funkci školní motorové brzdy jsme porovnali nezávislým měřením otáčkové charakteristiky na válcové brzdě MotoCOMtest instalované ve firmě Ignitech Přelouč. Uvedené zařízení bylo kalibrováno. Porovnání jsme provedli na motocyklech Jawa 50 a Jawa 125 Dandy. Výsledky a porovnání jsou uvedeny v tab. č. 2.5 a 2.6.



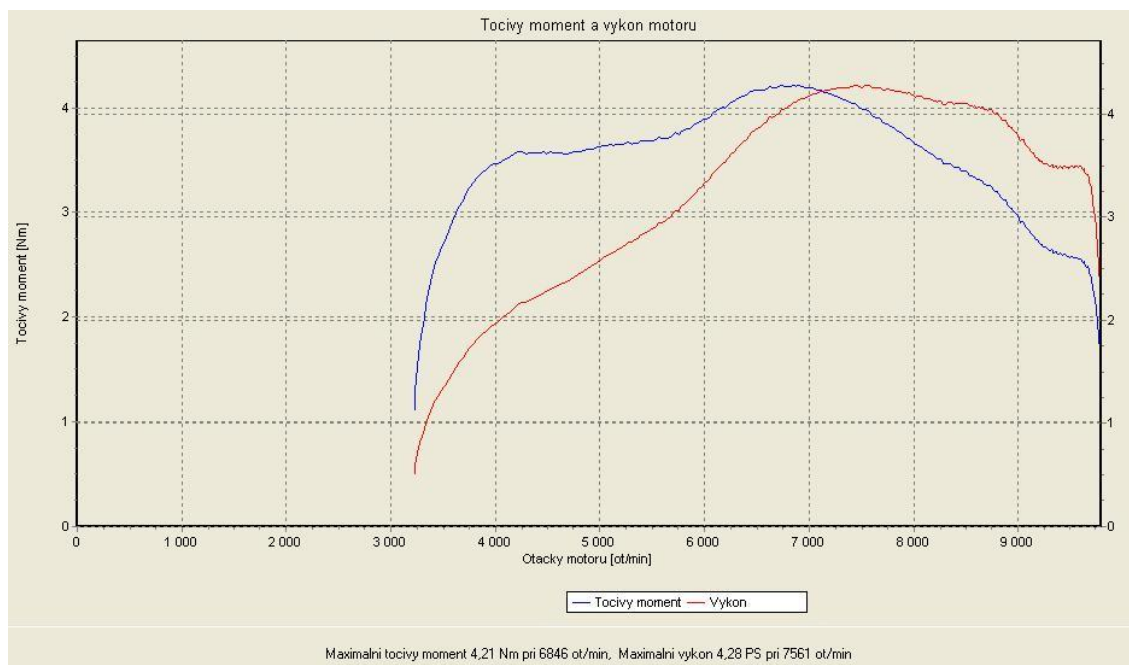
Obr. č. 2.12 – Ignitech – válcová brzda

Měření ve firmě Ignitech:

Jawa 50:

| č. | P [kW] | n_p [ot/min] | M [Nm] | n_M [ot/min] |
|-------------------------|--------|----------------|--------|----------------|
| 1 | 3,22 | 7171 | 4,46 | 6620 |
| 2 | 3,25 | 7633 | 4,28 | 6788 |
| 3 | 3,14 | 7561 | 4,21 | 6846 |
| 4 | 3,20 | 7616 | 4,20 | 6824 |
| 5 | 3,20 | 6941 | 4,48 | 6599 |
| Aritmetický průměr | 3,20 | 7384 | 4,33 | 6735 |
| Směrodatná odchylka | 0,04 | 279 | 0,12 | 105 |
| Variační koeficient [%] | 1,12 | 3,78 | 2,80 | 1,55 |

Tab. č. 2.1 – naměřené hodnoty Jawa 50

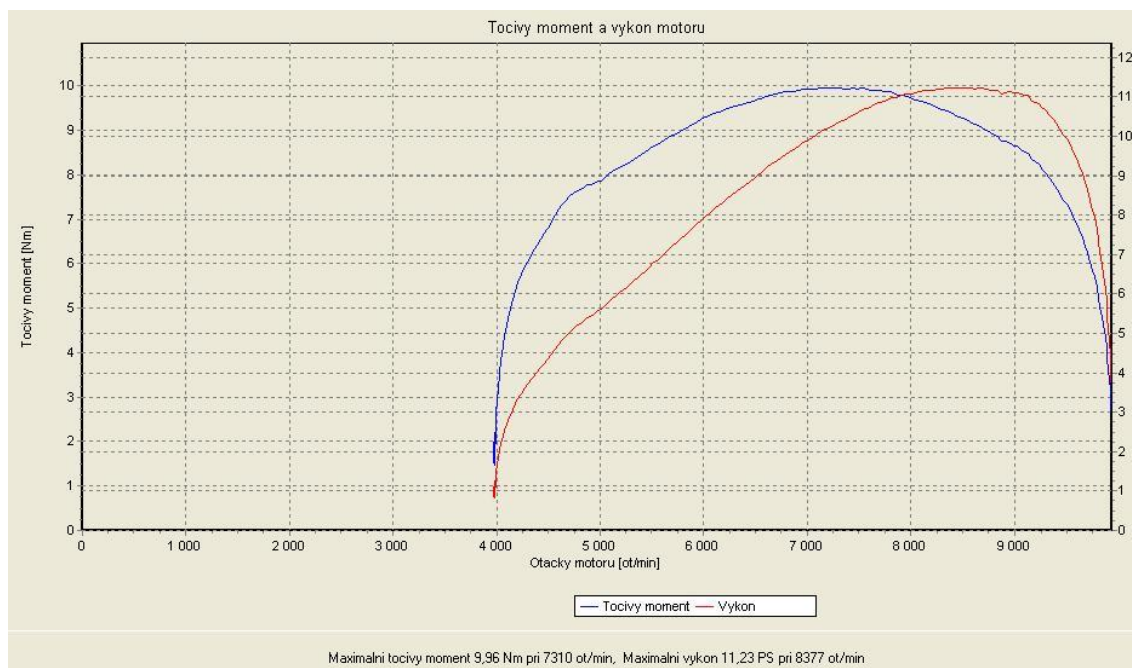


Obr. č. 2.13 – otáčková charakteristika Jawa 50

Jawa 125 Dandy:

| č. | P [kW] | n_p [ot/min] | M [Nm] | n_M [ot/min] |
|-------------------------|--------|----------------|--------|----------------|
| 1 | 8,25 | 8377 | 9,96 | 7310 |
| 2 | 8,28 | 8499 | 9,92 | 7453 |
| 3 | 8,29 | 8319 | 9,96 | 7378 |
| Aritmetický průměr | 8,27 | 8398 | 9,95 | 7380 |
| Směrodatná odchylka | 0,02 | 75 | 0,02 | 58 |
| Variační koeficient [%] | 0,21 | 0,89 | 0,19 | 0,79 |

Tab. č. 2.2 – naměřené hodnoty Jawa 125 Dandy



Obr. č. 2.14 – otáčková charakteristika Jawa 125 Dandy

Měření na školní brzdě:

Jawa 50

- průměr ze 3 měření

| č. | P [kW] | n_p [ot/min] | M [Nm] | n_M [ot/min] |
|----|--------|----------------|--------|----------------|
| 1 | 2,90 | 7437 | 3,90 | 6979 |

Tab. č. 2.3– naměřené hodnoty Jawa 50



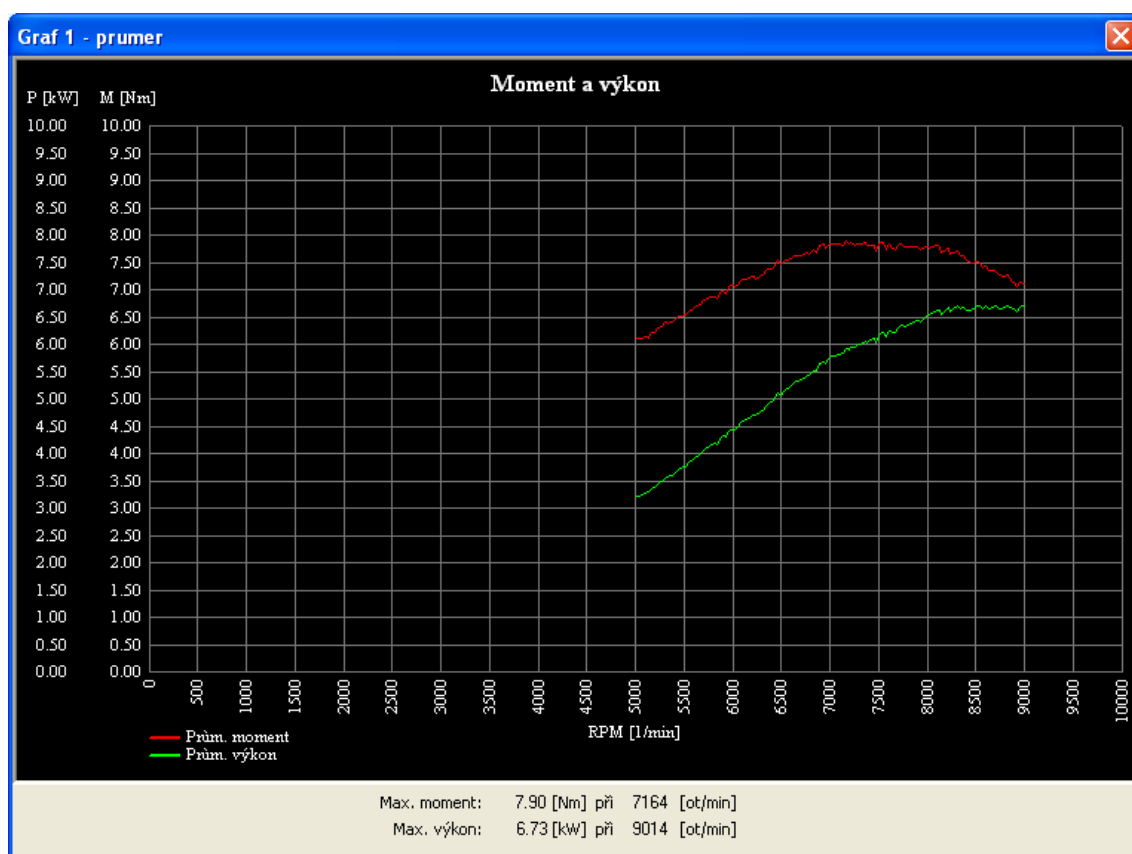
Obr. č. 2.15– otáčková charakteristika Jawa 50

Jawa 125 Dandy:

- průměr ze 3 měření

| č. | P [kW] | n_p [ot/min] | M [Nm] | n_M [ot/min] |
|----|--------|----------------|--------|----------------|
| 1 | 6,73 | 9014 | 7,90 | 7164 |

Tab. č. 2.4 – naměřené hodnoty Jawa 125 Dandy



Obr. č. 2.16– otáčková charakteristika Jawa 125 Dandy

Porovnání měření:

| Jawa 50 | P [kW] | n_P [ot/min] | M [Nm] | n_M [ot/min] |
|----------|--------|----------------|--------|----------------|
| Ignitech | 3,20 | 7384 | 4,33 | 6735 |
| UPCE | 2,90 | 7437 | 3,90 | 6979 |
| Odchylka | -10% | +1% | -11% | +3% |

Tab. č. 2.5 – porovnání výsledků

| Jawa 125 Dandy | P [kW] | n_P [ot/min] | M [Nm] | n_M [ot/min] |
|----------------|--------|----------------|--------|----------------|
| Ignitech | 8,27 | 8398 | 9,95 | 7380 |
| UPCE | 6,73 | 9014 | 7,90 | 7164 |
| Odchylka | -23% | +7% | -26% | -3% |

Tab. č. 2.6 – porovnání výsledků

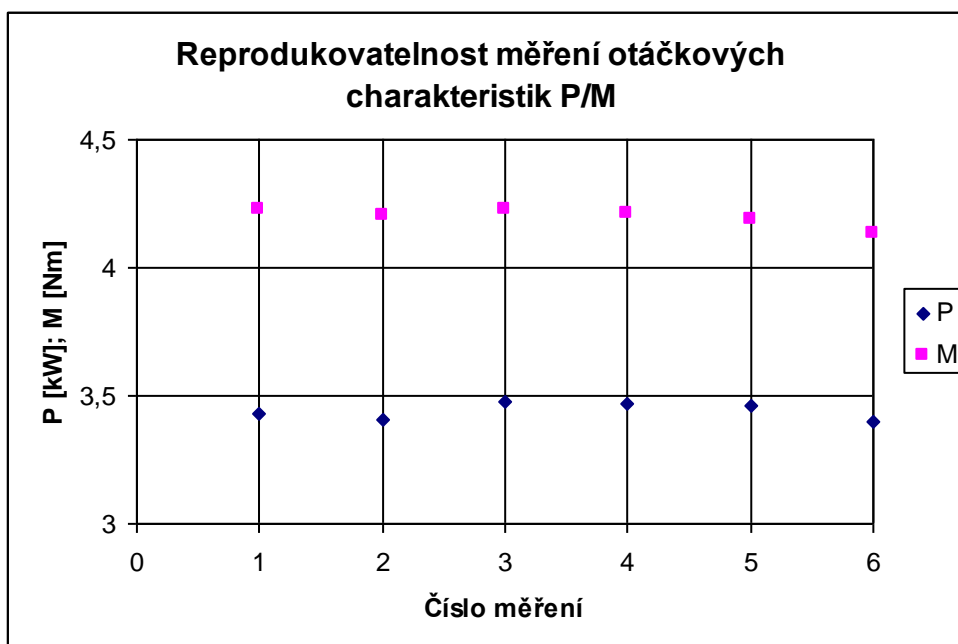
Porovnáním naměřených údajů a grafů je patrné, že měření na UPCE je prováděno se systematickou chybou. Naměřené hodnoty jsou oproti skutečným nižší a chyba se s rostoucím výkonem motoru zvětšuje. Tvary křivek otáčkové charakteristiky jsou však identické a naměřené průběhy výkonu a točivého momentu jsou správné.

2.4.2. Test reprodukovatelnosti

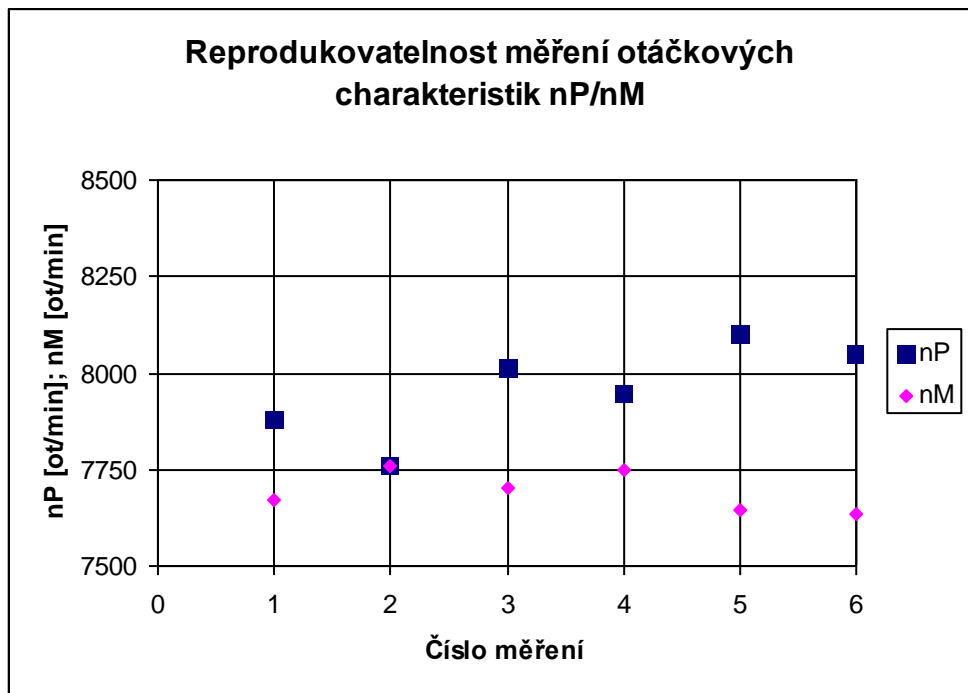
Předmětem mého zájmu bylo ověření reprodukovatelnosti měření, které provádím. Provedl jsem 6 měření otáčkových charakteristik. Naměřené hodnoty a základní statistické parametry jsou uvedeny v Tab. č. 2.7. Opakovaná měření byla provedena v časovém úseku 30 min a na motoru bylo zachováno jednotné nastavení. Sledovanými hodnotami byly maximální výkon a točivý moment při příslušných otáčkách motoru.

| č. | P [kW] | n_p [ot/min] | M [Nm] | n_M [ot/min] |
|-------------------------|--------|----------------|--------|----------------|
| 1 | 3,43 | 7880 | 4,23 | 7669 |
| 2 | 3,41 | 7758 | 4,2 | 7758 |
| 3 | 3,48 | 8014 | 4,23 | 7702 |
| 4 | 3,47 | 7947 | 4,21 | 7747 |
| 5 | 3,46 | 8103 | 4,19 | 7647 |
| 6 | 3,40 | 8047 | 4,13 | 7636 |
| Aritmetický průměr | | | | |
| | 3,44 | 7958 | 4,20 | 7693 |
| Směrodatná odchylka | | | | |
| | 0,03 | 114 | 0,03 | 47 |
| Variační koeficient [%] | | | | |
| | 0,88 | 1,44 | 0,81 | 0,61 |

Tab. č. 2.7 - reprodukovatelnost



Graf č. 2.1 – reprodukovatelnost měření



Graf č. 2.2 – reprodukovatelnost měření

Z naměřených hodnot je patrné, že maxima veličin mají velmi malou odchylku od jejich průměru. Otáčková maxima vzhledem k jejich velikosti disponují též malou odchylkou. Ze statistického rozboru vyplývá, že měření je reprodukovatelné a že naměřené hodnoty mají pevný základ.

2.5. Experimentální měření

2.5.1. Základní údaje motoru

Pro experimentální část jsem použil motor Jawa Typ 20 r.v. 1973, výrobce Jawa, n.p., Povážská Bystrica, ČSSR.

| | |
|---|--|
| Typ motoru | Dvoutaktní zážehový, vzduchem chlazený jednoválec |
| Objem | 50 cm ³ |
| Zdvih | 44 mm |
| Vrtání | 38 mm |
| Počet pístních kroužků | 1 |
| Zapalovací svíčka | Brisk NC14 |
| Olej | Denicol S2 Competition (1:40) |
| Benzín | Verva 100 |
| Karburátor | Dell Orto 19 PHBV |
| Výfuk | Hikone (modifikovaný) |
| Sací potrubí | vlastní výroba |
| Vzduchový filtr | Hebo |
| Sada trysek (kompatibilní ke karburátoru) | Stage 6 (0,70- 1,10 mm) |
| Spojka | Dvoulamelová (třecí obložení Ferodo) v olejové lázni |

Tab. č. 2.8 – technické údaje

Motor byl sestaven na základě kitu dodaného od Miroslava Stejskala, IČO 76605671, Letohrad. Kit obsahoval válec, píst a hlavu motoru (viz. obr. č. 2.17). Sestavení a adjustace motoru byla provedena firmou Motoservis Kocourek, Raškovice.



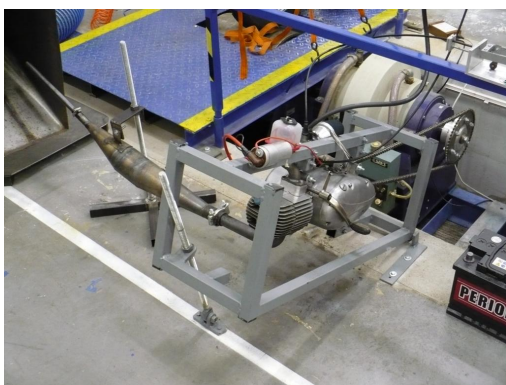
Obr.č. 2.17 – cestovní úprava

Stavbu motocyklu v úpravě pro terénní závody jsem provedl vlastními silami a prostředky. (viz obr 2.16).



Obr. č. 2.18 – Jawa 50

Pro potřeby měření na motorové brzdě jsem zkonstruoval a vyrobil s pomocí pracovníků školní dílny speciální rám k uchycení motoru včetně náboje řetězového kola pro pohon dynamometru (viz obr č. 2.19 a 2.20).



Obr. č. 2.19 – motorová brzda



Obr. č. 2.20 – motorová brzda

Zapalování jsem použil alternativně originální kontaktní nebo elektronické Jawa – ČZ – Trabant Ignition V 4.2, výrobce IMF Soft s.r.o. Ostrava, ČR.



Obr. č. 2.21 – kit zapalování IMF Soft

2.5.3. Nastavení karburátoru

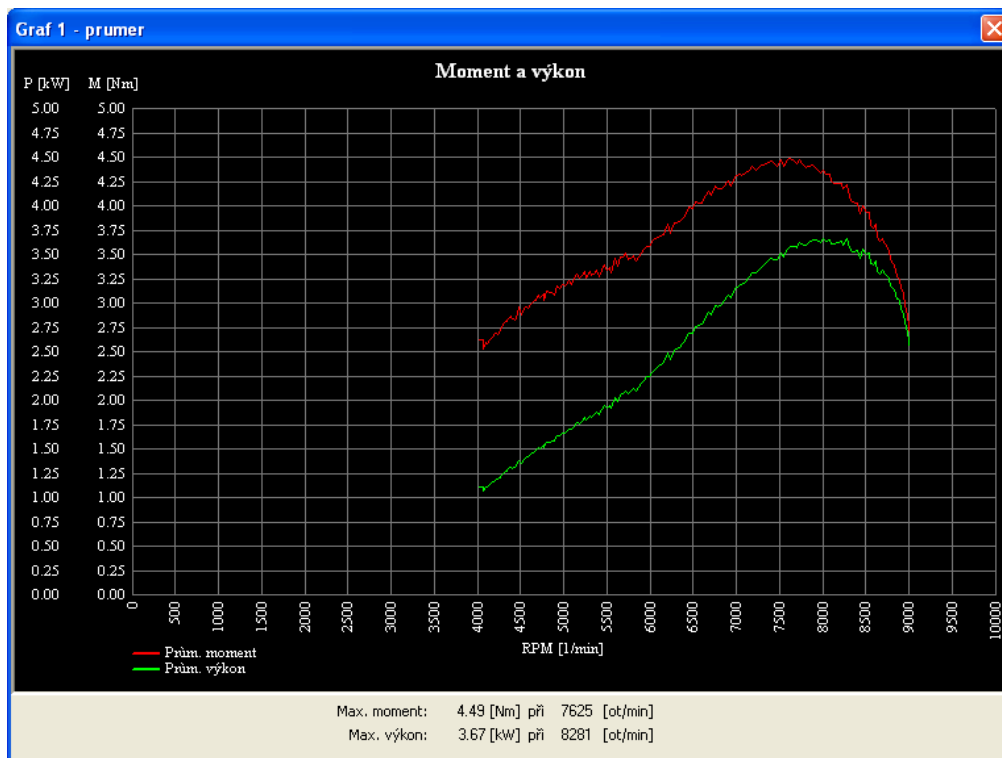
Použitý karburátor Dell Orto 19 PHBV je podtlakový jehlový karburátor moderní konstrukce s možností výměny hlavní trysky a změny polohy jehly v šoupátku. K nastavení karburátoru jsem použil sadu hlavních trysek. Změnou hlavní trysky jsem sledoval zlepšení/zhoršení průběhů výkonu a točivého momentu. Bohatost směsi (ideální/ochuzená/chudá) jsem pak dodatečně kontroloval podle barvy svíčky.

Sada hlavních trysek (0,70 – 1,10mm):



Obr. č. 2.22 – sada hlavních trysek

Ideální směs:



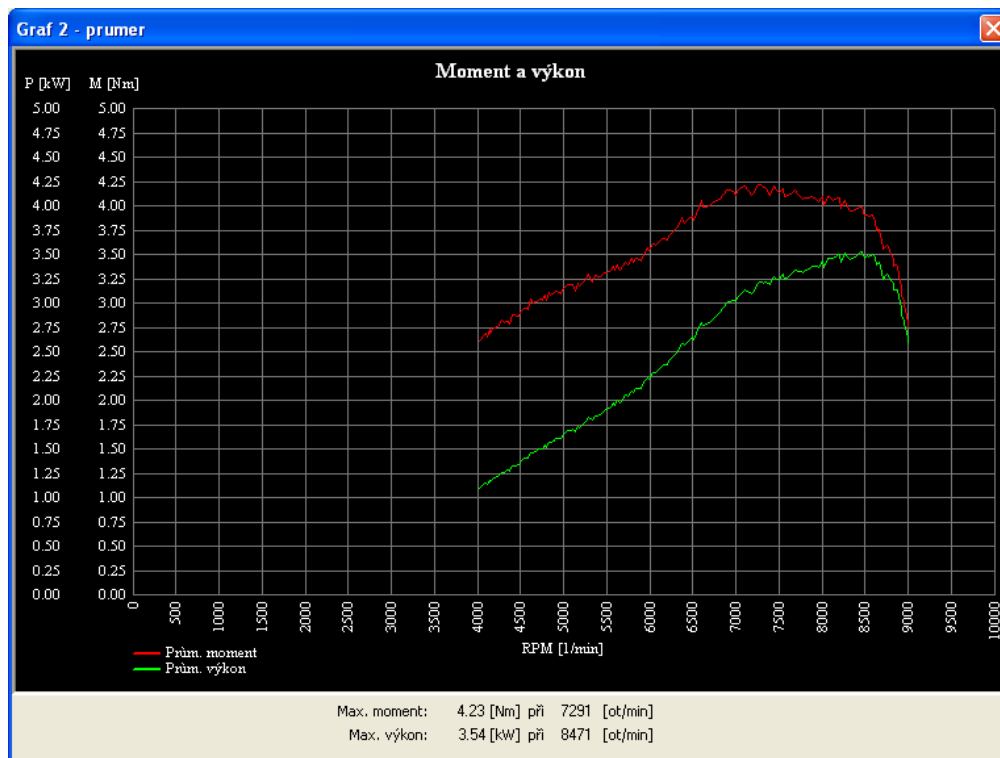
Obr. č. 2.23 – ideální směs

Ochuzená směs:



Obr. č. 2.24 – ochuzená směs

Chudá směs:



Obr. č. 2.25 – chudá směs

Srovnání ideální a chudé směsi:



Obr. č. 2.26 – porovnání směsí

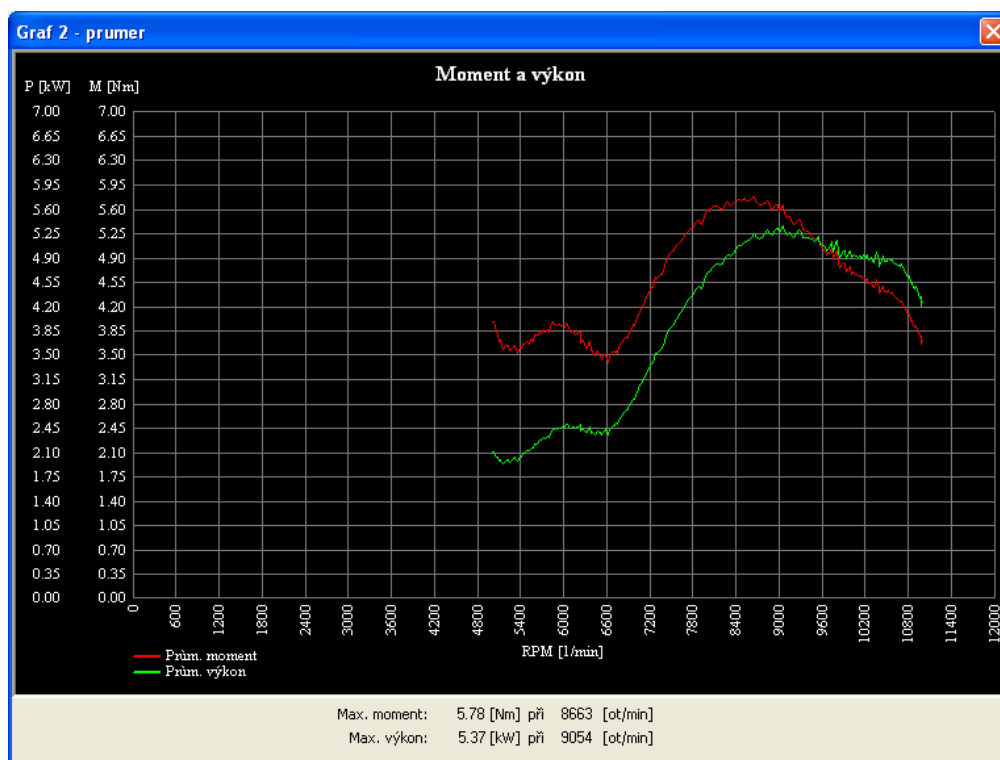
Jiný než stechiometrický poměr směsi s sebou přináší znatelné odchylky od maximálního výkonu motoru a jeho průběhu. Kritická oblast pro dvoutaktní motor je chudá směs. Vysoká teplota a nedostatečné mazání může vést až k zadření a jeho destrukci. Oblast bohaté směsi je pro motor bezpečná, protože spalování probíhá při nižší teplotě a přebytek směsi zajišťuje dostatečné mazání. Vliv bohaté směsi na výkon motoru je stejný jako vliv chudé směsi. Zhoršení obohacováním směsi se postupně projevuje od vysokých otáček přes celé pásmo.

2.5.4. Závislost výkonové charakteristiky na předstihu

Použitím bezkontaktního plně elektronického zapalování jsem optimalizoval okamžik zážehu jiskry. Pro sledování vlivu předstihu na otáčkovou charakteristiku jsem zvolil konstantní předstih o různých hodnotách.

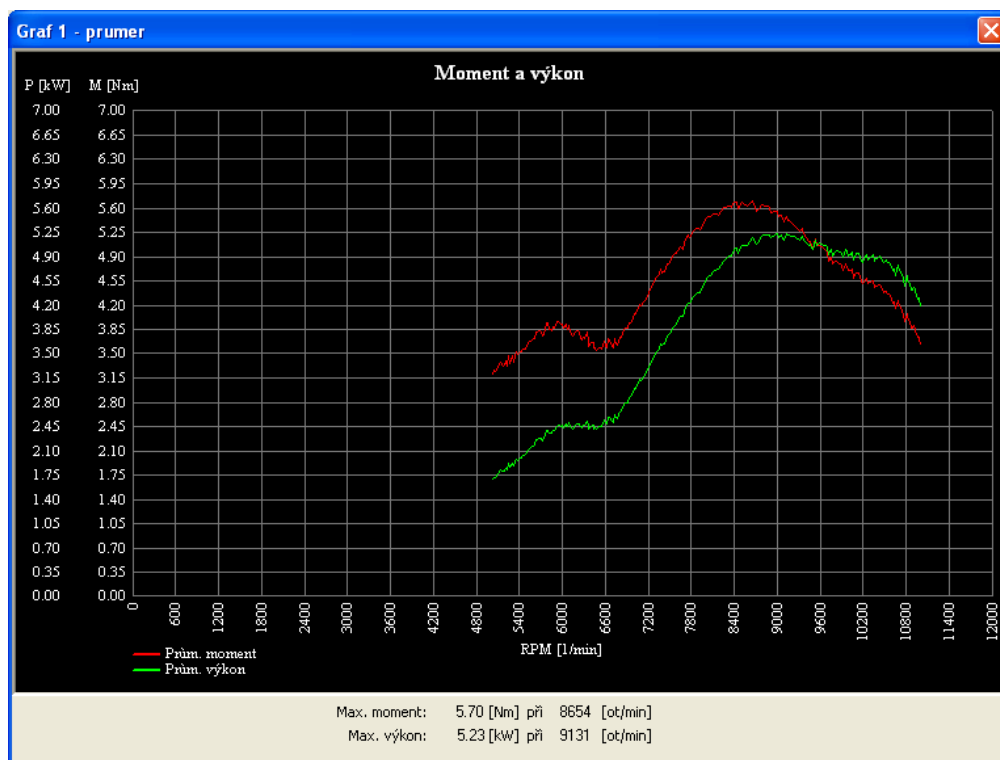
Jako základní předstih při použití původního kontaktního zapalování byl 1,6mm před HÚ. Sledování změn jsem provedl pro předstih 1,2 – 2,0mm před HÚ. Změna předstihu byla prováděna po 0,1mm.

Základní předstih 1,6mm před HÚ:



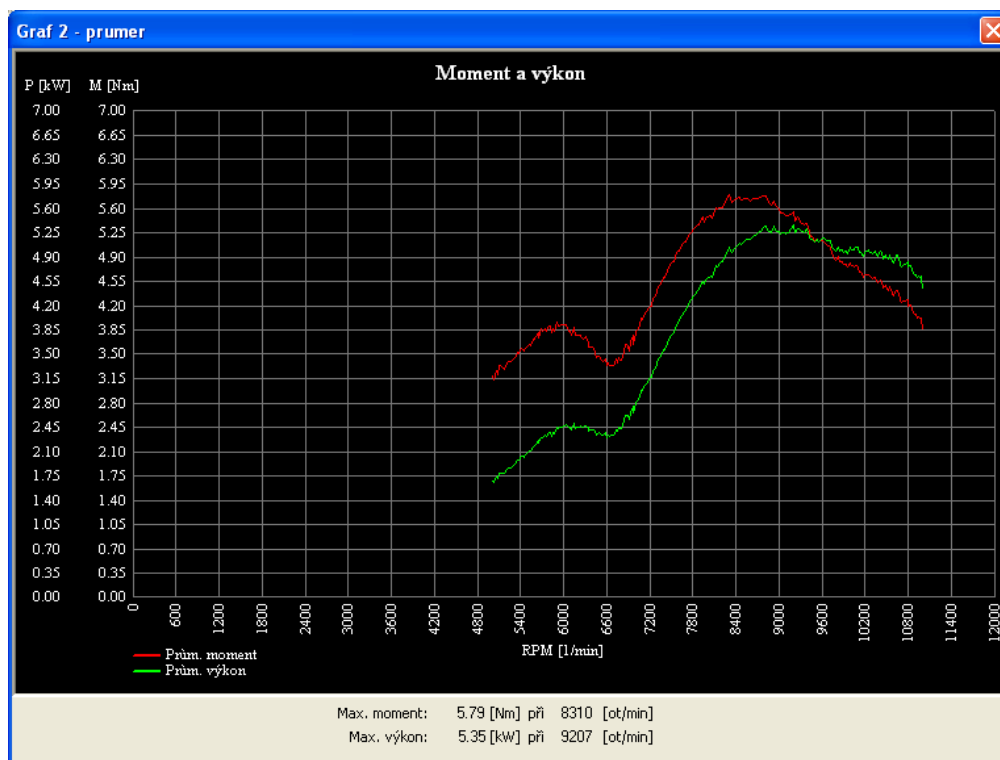
Obr. č. 2.27 – předstih 1,6mm před HÚ

Maximální předstih 2,0mm před HÚ:



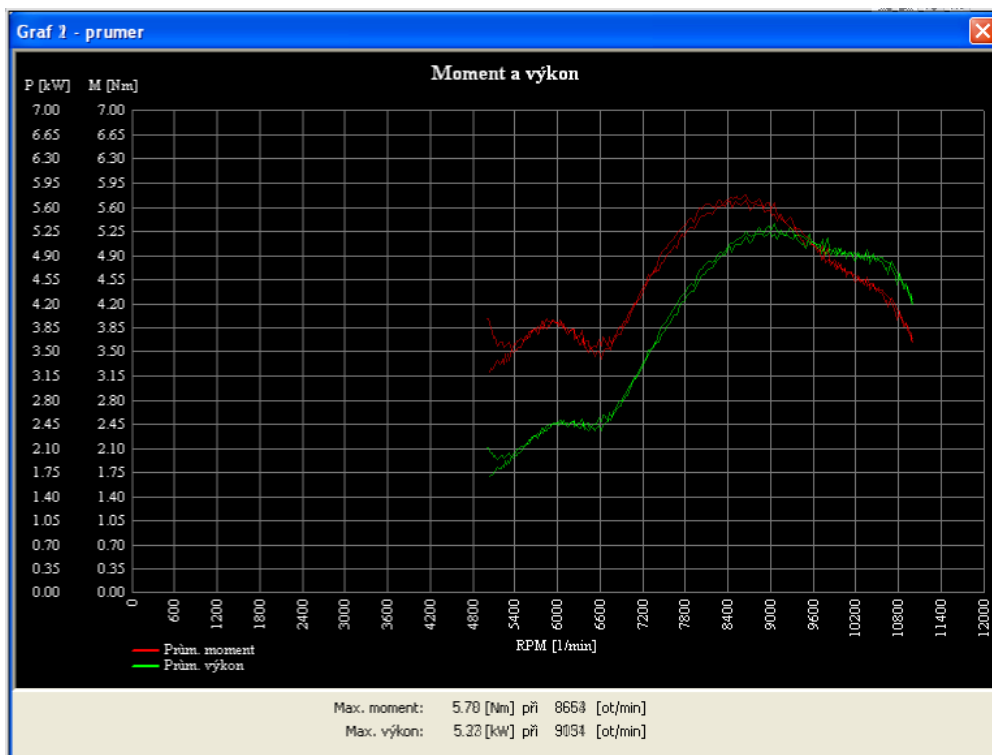
Obr. č. 2.28 – předstih 2,0mm před HÚ

Minimální předstih 1,2mm před HÚ:



Obr. č. 2.29 – předstih 1,2mm před HÚ

Porovnání základního předstihu s předstihem 2,0mm před HÚ:



Obr. č. 2.30 – porovnání předstihů 1,6 a 2,0mm před HÚ

Porovnání základního předstihu s předstihem 1,2mm před HÚ:



Obr. č. 2.31 – porovnání předstihů 1,6 a 1,2mm před HÚ

Porovnání předstihů jasně potvrzuje zmíněnou teorii. Velká hodnota předstihu má pozitivní vliv na výkon v nízkých otáčkách, avšak negativně se projevuje ve vysokých otáčkách. Malá hodnota předstihu má pozitivní vliv na výkon ve vysokých otáčkách a negativně se projevuje v nízkých otáčkách.

2.5.5. Návrh křivky předstihu v závislosti na otáčkách motoru

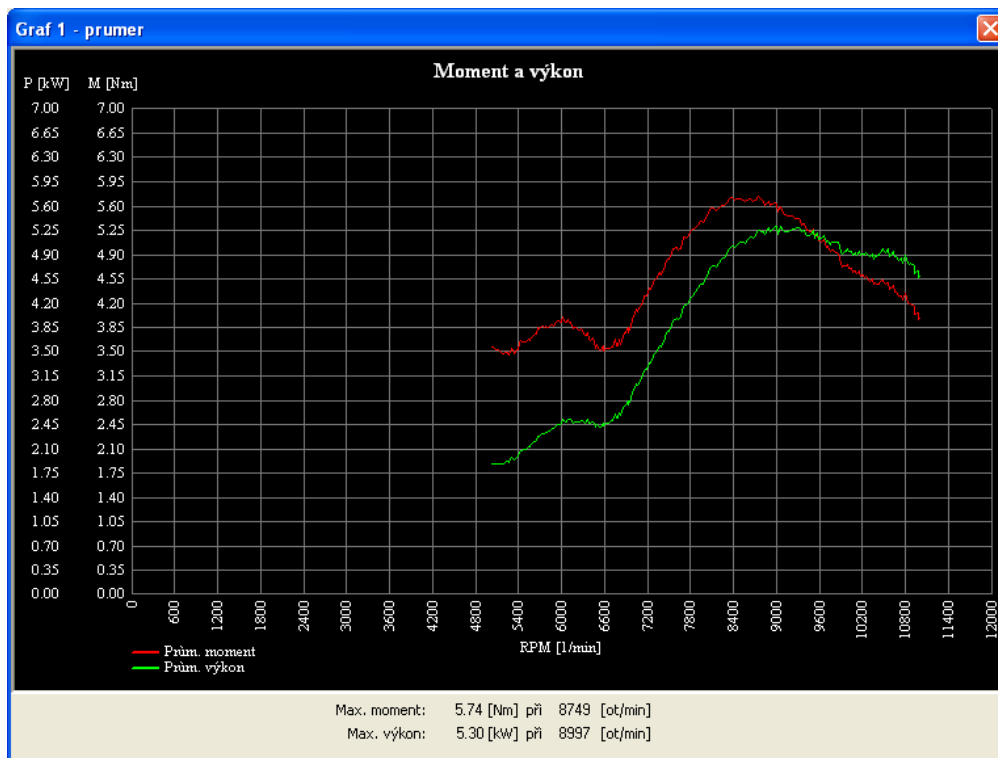
Při návrhu křivky předstihu bylo snahou využít výhod jednotlivých hodnot předstihu v příslušných otáčkách. Očekávaným výsledkem pak měl být nárůst výkonu motoru v celém spektru otáček.

Návrh křivky byl prováděn porovnáváním křivek jednotlivých hodnot předstihu s křivkou základního předstihu. Postupným vyhodnocováním byly určeny oblasti použití určitých hodnot předstihu.

| Předstih [mm před HÚ] | Otáčky motoru [min^{-1}] |
|-----------------------|-------------------------------------|
| 2,0 | 0 – 7200 |
| 1,6 | 7200 – 9300 |
| 1,4 | 9300 – 9900 |
| 1,2 | 9900 - max |

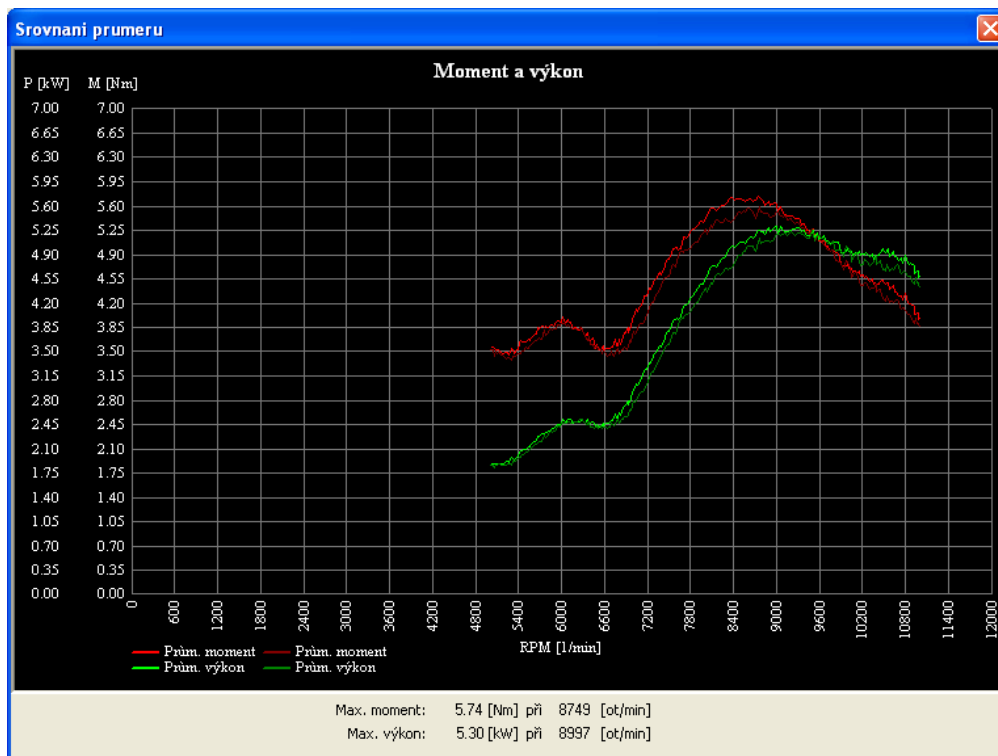
Tab. č. 2.9 – předstih

Otáčková charakteristika po optimalizaci křivky předstihu:



Obr. č. 2.32 – výsledná otáčková charakteristika

Porovnání optimalizované křivky předstihu se základním předstihem:



Obr. č. 2.33 – porovnání předstihů

Optimalizací křivky předstihu bylo dosaženo nárůstu výkonu v celém spektru otáček motoru o velikosti cca 0,2 kW a 0,2 Nm. Toto zlepšení bylo dosaženo bez mechanického zásahu do motoru, což dokazuje, jaký přínos může mít použití elektroniky.

3. Výsledky

S využitím motorové brzdy byla kromě témat bakalářské práce dále provedena optimalizace výfukového a sacího systému.



Obr. č. 2.34 – porovnání

| | P [kW] | n_p [ot/min] | M [Nm] | n_M [ot/min] |
|-----------------|--------|----------------|--------|----------------|
| Původní stav | 2,90 | 7437 | 3,90 | 6979 |
| Po optimalizaci | 3,79 | 7983 | 4,65 | 7437 |
| Změna | +31% | - | +11% | - |

Tab. č. 3.1 – výsledky optimalizace

Díky možnosti sledování vlivu provedených změn bylo dosaženo znatelného nárůstu výkonu a točivého momentu. Tato zlepšení byla dosažena pouze optimalizací použitých komponent.

4. Závěr

Realizaci měření předcházely přípravy (od října 2009), kdy jsem musel obstarat:

- finance
- prostory
- nářadí
- zkonstruovat a vyrobit speciální díly vlastními silami (soustružení, frézování, sváření, úprava elektroinstalace a další)
- zadat speciální práce (frézování, soustružení, povrchová úprava) a další.

Jako správné se ukázalo rozhodnutí transformovat válcovou brzdu na motorovou. Eliminoval jsem tak zdroje nepřesností a dosáhl výborné reprodukovatelnosti (viz. tab. č. 2.7). Důležitým krokem bylo ověření funkce školní brzdy, které jsem provedl srovnávacím měřením na profesionální, kalibrované a rutinně používané válcové brzdě. Porovnávací měření jednak odhalilo systematickou chybu školní brzdy avšak potvrdilo porovnatelnost měření (viz. tab. č. 2.5 a 2.6).

Zjištěné parametry školní brzdy mi umožnily provést objektivní měření, nezbytná pro optimalizaci výkonových parametrů použitého motoru.

Složení palivové směsi se mi dařilo optimalizovat správnou volbou HT. Subjektivní posouzení bohatosti směsi podle barvy svíčky se ukázalo jako dostatečné, což potvrdily výsledné grafy otáčkových charakteristik.

Možnost objektivního sledování vlivu předstihu na otáčkovou charakteristiku mi umožnilo dokončit ladění mého motoru s využitím programovatelného zapalování. Nárůst výkonu a točivého momentu byl relativně malý, avšak v motoristickém sportu rozhodují právě detaily.

Měření na motorové brzdě bylo pro mě velkou zkušeností, protože jsem měl možnost provádět úpravy motoru na profesionální úrovni. Dosažené výsledky předčily mé očekávání v podobě celkového nárůstu výkonu o 31% a točivého momentu o 11%.

Seznam použité literatury

- JENNINGS, Gordon. Two-stroke TUNER'S HANDBOOK. Tuscon: HP Books, 1986. ISBN 0912656417
- BELL, A. Graham. Two Stroke Performance Tuning. Sparkford: Haynes Publishing, 1999. ISBN 0859606199
- MAŠEK, Zdeněk. Programové řízení dynamometru pro zkoušení pohonu vozidel, diplomová práce, UPCE, Pardubice 2005