

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2016

MAREK BOROVIČKA

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



**Optimalizace datových polí regulačního systému
spalovacího motoru s nízkým momentem setrvačnosti**
Diplomová práce

Vedoucí bakalářské práce:
doc. Ing. Jiří Čupera, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Marek Borovička

Brno 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „**Optimalizace datových polí regulačního systému spalovacího motoru s nízkým momentem setrvačnosti**“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu **doc. Ing. Jiřímu Čuperovi, Ph.D.** za jeho ochotu, odborné vedení, a cenné rady při zpracování diplomové práce. Dále panu **Bc.Miroslavu Rollingerovi** za ochotu při objasnění problematiky motocyklů a zajištění měření na válcovém dynamometru.

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na regulaci spalovacích motorů s nízkým momentem setrvačnosti, zejména jednostopých vozidel. Teoretická část zprvu pojednává o obecné regulaci spalovacích motorů, dále popisuje problematiku hardwarové architektury regulačního systému, snímačů, řídicích jednotek, akčních prvků, i jejich funkce a typy konstrukcí. Hlavní část je věnována experimentu, spočívajícím v optimalizaci dat v programovatelné řídicí jednotce závodního motocyklu, a následnému měření změn na válcovém dynamometru. Výstupem experimentu je nastavení specifických periferních funkcí řídicí jednotky a naladění regulačního systému spalovacího motoru motocyklu pro určitý režim provozu, v tomto případě provozu závodním.

Klíčová slova:

Motocykl, vstřikování, řídicí jednotka, dynamometr, výkon, rychlořazení

ABSTRACT

The thesis is focused on the regulation of a combustion engines with low moment of inertia, especially of a two-wheelers. The theoretical part firstly discusses about the regulation of internal combustion engines in general, further describes the problem of a hardware architecture of the control systems, sensors, electronic control units, actuators, their functions and design. The main part of the thesis is devoted to the experiment consisting in data optimization in the programmable electronic control unit of a racing motorcycle and subsequent measurement of influences on a dynamometer. The outcome of the experiment is setting of specific peripheral functions of the electronic control unit and adjustment of the control system of motorcycle's combustion engine for a particular mode of operation, in this case for racing operation.

Keywords:

Motorcycle, injection, electronic control unit, dynamometer, power, quickshift

Obsah

1	ÚVOD.....	8
2	CÍL PRÁCE.....	11
3	REGULACE SPALOVACÍCH MOTORŮ.....	12
3.1	Regulace kvantitativní.....	12
3.1.1	Mechanická regulace.....	13
3.1.2	Elektronická regulace.....	13
3.2	Regulace kvalitativní.....	14
3.3	Regulace smíšená.....	15
4	ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PROSTŘEDKY REGULACE MOTOCYKLŮ.....	17
4.1	Snímače.....	17
4.1.1	Snímač polohy.....	18
4.1.2	Snímač otáček a polohy klikové hřídele.....	19
4.1.3	Snímač otáček a polohy vačkové hřídele.....	20
4.1.4	Snímač tlaku.....	21
4.1.5	Snímač teploty.....	22
4.1.6	Snímač klepání.....	24
4.1.7	Snímač přebytku vzduchu.....	25
4.1.8	Snímač hmotnosti vzduchu.....	28
4.2	Řídicí jednotka.....	29
4.3	Řídicí strategie.....	31
4.3.1	Stanovení dávky paliva.....	31
4.3.2	Stanovení okamžiku zážehu.....	32
4.3.3	Snížení točivého momentu.....	33
4.3.4	Funkce rychlořazení (quickshift, clutchmaster).....	34
4.4	Akční prvky.....	35
4.4.1	Vstřikovací ventil.....	35
4.4.2	Zapalovací systém.....	37
4.4.3	Elektronická škrticí klapka.....	37
4.4.4	Variabilní délka sacího potrubí.....	39
4.5	Softwarové nástroje pro kompilaci zdrojových kódů.....	40
4.6	Protokolární vrstvy přístupu do ECU.....	40
4.6.1	Využití protokolu XCP.....	41
5	MATERIÁL A METODIKA.....	42
5.1	Měření výkonu vozidel.....	42
5.1.1	Dynamické měření.....	42

5.1.2	Statické měření	43
5.1.3	Kombinace dynamické a statické metody	43
5.1.4	Měření ztrát.....	44
5.1.5	Měření převodového poměru.....	44
5.1.6	Měření na válcích.....	44
5.1.7	Měření na klikové hřídeli.....	45
5.2	Specifikace zkoušeného vozidla	45
5.2.1	Parametry motocyklu	45
5.2.2	Příslušenství (úpravy motocyklu)	47
5.2.3	Provozní náplně zkoušeného vozidla.....	47
5.3	Specifikace zkušebny	48
5.4	Specifikace software pro změnu regulace.....	49
5.5	Podmínky měření	51
5.6	Metodika měření	52
6	VÝSLEDKY MĚŘENÍ A DISKUZE.....	53
6.1	Měření výkonu motocyklu	53
6.1.1	Vstupní měření bez náporu větru a s původním nastavením	53
6.1.2	Měření s původním nastavením.....	53
6.1.3	Měření s permanentně vypnutým a zapnutým systémem YCC-i	54
6.1.4	Měření s vhodně nastaveným systémem YCC-i.....	56
6.1.5	Měření s úpravou paliva	56
6.2	Nastavení periferních funkcí	58
6.2.1	Nastavení rychlostního limitu.....	58
6.2.2	Korekce volnoběhu	59
6.2.3	Nastavení rychlořazení	59
7	ZÁVĚR	61
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	63
9	SEZNAM INTERNETOVÝCH ODKAZŮ	64
10	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	65

1 ÚVOD

Motivem výběru tématu mé diplomové práce s názvem „**Optimalizace datových polí regulačního systému spalovacího motoru s nízkým momentem setrvačnosti**“ byl zájem o specifické regulační procesy a algoritmy určené pro spalovací motory s nízkým momentem setrvačnosti. Polemika nad definicí pístového spalovacího motoru s nízkým momentem setrvačnosti mne přivedla k jednoznačnému závěru při výběru vhodného experimentálního vzorku, a to motoru soutěžního motocyklu. Literatura a vědecké prameny nikterak nediferencují motory podle momentu setrvačnosti, ačkoliv je to jeden ze základních parametrů motorů, alespoň v části konstrukce a návazně i v etapě nastavování elektronické regulační soustavy. Obvykle se u motorů s nízkým momentem setrvačnosti pracuje s pojmem dynamika motoru, avšak domnívám se, že toto označení je poněkud „virtuální“ a často tendenčně používané. V kontextu této diplomové práce je výstižnější, a také konkrétnější označení dynamiky ve vztahu k regulačnímu procesu. Ilustrativně lze uvést například dynamika regulační smyčky otáček spalovacího motoru, který je dominantně závislý na momentu setrvačnosti spalovacího motoru a na výši točivého momentu. Z těchto parametrů pak plyne požadavek nízkého momentu setrvačnosti a velkou rezervu točivého momentu. Splnění těchto kritérií je úkolem konstruktérů spalovacích motorů, tato práce se dále bude zabývat úskalím regulace těchto motorů. Reprezentant motoru s nízkým momentem setrvačnosti pro realizaci byl motocykl Yamaha R6 s momentem setrvačnosti motoru $0.02 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, což je o řád nižší než u automobilových motorů. U tříválcových motorů, např. Yamaha R675 moment setrvačnosti motoru klesá na $0.0175 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$. Ačkoliv nezasvěcenému čtenáři by mohly způsoby regulace motorů splývat, resp. nebyly by mu patrné kontrasty v regulačních smyčkách jednotlivých procesů, rozdíly jsou markantní a v určitých procesech zásadně odlišné. Definice optimálního regulátoru tkví v nulové regulační odchylce, jinými slovy vhodný regulátor je nastaven tak, aby při skokové změně řídicí veličiny dosáhla regulovaná veličina co nejrychleji nastavené hodnoty, a to s minimálním překmitem žádané hodnoty a s co nejkratším časem doby překmitu. Obecně je rychlost regulace určena parametrem doby regulační odezvy, která definuje čas, za kterou regulovaná veličina dosáhne nově nastavenou hodnotu. Následuje fáze doby regulace, kdy regulátor musí snížit velikost rozkmitu od žádané hodnoty pod limit řídicí veličiny. K těmto procesům (vyjma specifických

způsobů regulace u spalovacích motorů) je obvykle užit obecný PID regulátor, jehož základními a určujícími parametry jsou proporcionální složka (konstanta úměrnosti) a časové konstanty – integrační a derivační. Optimální nastavení regulátoru je u spalovacích motorů značně složité a de facto nemožné, ale parametry jednotlivých složek lze optimalizovat. V regulaci spalovacích motorů se lze setkat s různými regulačními artefakty, které vypovídají o pečlivosti při tvorbě regulátoru ze strany programátorů těchto systémů. Například často se lze setkat s nastavením velké proporcionální složky a malé integrační konstantě, což způsobí velký rozkmit soustavy a značnému netlumenému kmitání regulované veličiny, jinými slovy k nestabilitě regulační smyčky. Očima vnějšího pohledu na takto regulovaný proces spalovacího motocyklu je pak zřetelné, že při fluktuaci točivého momentu, je nejen značně zhoršen komfort jízdy, ale významně snížena stabilita motocyklu, tedy bezpečnost jízdy. Na rozdíl od relativně pomalých procesů regulace u spalovacích motorů osobních automobilů (běžně moment setrvačnosti na úrovni $0.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$), je dynamické chování regulátoru pro motory s nízkým momentem setrvačnosti ve vlečné regulaci, kdy regulovaná veličina s časovým zpožděním sleduje zadávaný požadavek řídicí veličiny. Dynamická charakteristika regulátoru je významně zlepšena snižováním časových konstant proměnných. Tedy platí, že vzorkování signálu proměnných (otáčky motoru, tlaku v sání atp.) vede k vyšší stabilitě regulátoru a eliminaci časové fluktuace regulátoru. Avšak toto je podmíněno nutností instalace snímačů, které už mechanickým způsobem umožní zvýšení vzorkování. Obrazně například musí dojít ke zvýšení počtu zubů na tělese věnce snímače otáček tak, aby se zvýšila informační hodnota signálu, a čítač signálu pak v elektronické jednotce provádí první a zejména druhou derivaci podle času (zrychlení) přesněji. Analogicky však musí dojít ke komplexnímu zrychlení regulačních smyček, což je podmíněno dostatečným výpočetním výkonem mikrokontroleru řídicí jednotky. „Pozitivem“ však je, že u těchto kategorií motorů není třeba zatěžovat systém dalšími paralelními rutinami, jako jsou protokoly OBD-2 či nároky na komunikaci s externími komponenty pro redukci škodlivin v emisích. A s nadsázkou ve vztahu ke kauze „dieselgate“ mohou také konstatovat, že algoritmy regulace spalovacího motoru motocyklů neobsahují softwarové moduly, které by rozpoznávaly průběh jízdního cyklu a upravovaly systémy přípravy směsi či předstihu tak, aby byly redukovány zejména emise NO_x . Způsoby regulace jsou a budou v tomto ohledu transparentní do doby, než vstoupí v platnost legislativní restrikce s iracionálně

nastavenými limity škodlivin. Na rozdíl od jiných kategorií vozidel si nedovedu představit situaci, kdy by měl být na motocykl instalován například emisní systém SCR, a to nejen z důvodu zástavbových rozměrů. Snad alespoň v segmentu motocyklů se nebude historie opakovat a legislativci s techniky i ekonomy dospějí ke konsensu.

V diplomové práci budou v rešeršní části popsány základní principy regulace spalovacích motorů. Poté bude objasněna problematika konkrétních členů regulačního systému - dělících se na snímače, řídicí jednotky, akční prvky. Tyto komponenty budou podrobněji popsány a bude charakterizován princip jejich funkce. V další části se budou řešit způsoby zkoušení výkonu jednostopého vozidla a základní typy měřicích zařízení. Praktická část diplomové práce bude spočívat v programování přepisovatelné paměti řídicí jednotky vybraného motocyklu, zkoušení na válcovém dynamometru a diskuzi výsledků.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je uskutečnit optimalizaci datových polí v řídicí jednotce pístového spalovacího motoru s nízkým momentem setrvačnosti, respektive v tomto případě motocyklu. Pro tento experiment je třeba vyhledat motocykl, který bude v dobré mechanické kondici s absencí závad na pohonném ústrojí a bude mít potřebnou výbavu - což je např. programovatelná řídicí jednotka s komunikačním rozhraním a softwarem. Dále je nutné zvolit měřicí stanici, vybavenou zařízením pro měření výkonu se záznamem a s adekvátními technickými parametry a příslušenstvím, aby mohl být pokus realizován a vykazoval objektivní výsledky. Po úspěšném splnění těchto podmínek bude možno experiment provést.

Samotný test bude spočívat v kombinaci měření vnější charakteristiky motoru a softwarovými změnami v řídicí jednotce. Během těchto zkoušek se bude sledovat, vyhodnocovat a reagovat zásahem v řídicí jednotce obzvlášť na tyto veličiny: výkon, otáčky, součinitel lambda. Výsledkem zkoušky by mělo být nalezení optimální charakteristiky motoru vzhledem k jeho povaze provozu a nastavení některých periferních funkcí.

3 REGULACE SPALOVACÍCH MOTORŮ

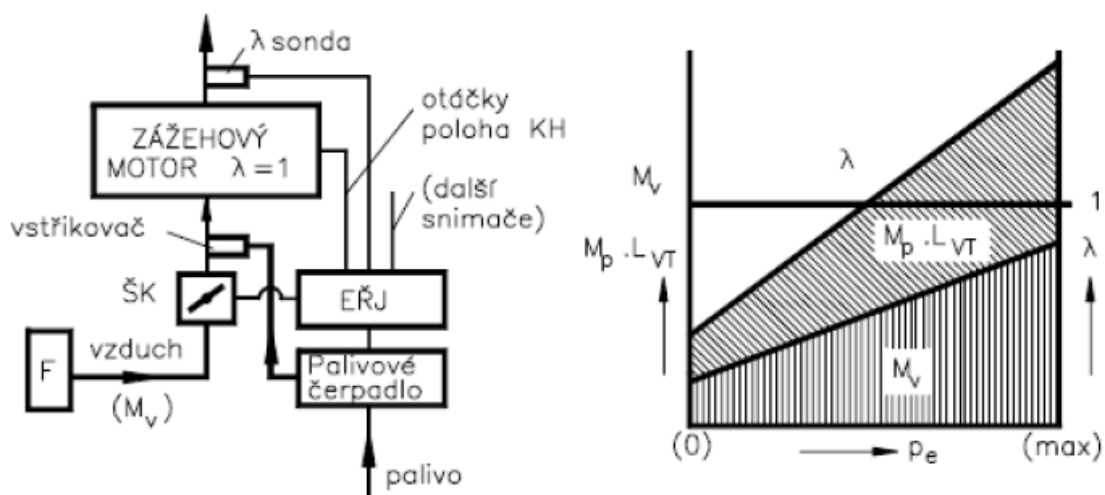
Pod pojmem regulace spalovacích motorů se rozumí řízení spolehlivého chodu motoru, ovládání jeho výstupních parametrů (např. otáček, točivého momentu), zajištění nejnižší produkce exhalátů apod.

Obecně se regulace rozděluje na **kvantitativní, kvalitativní, smíšenou**, a zastaralou regulaci **vynecháváním**.

3.1 Regulace kvantitativní

Jedná se o regulaci zážehových motorů, kdy je střední efektivní tlak pracovního oběhu řízen změnou průtočného množství proudícím do spalovacího prostoru. Spalovacím a protékajícím médiem je palivo se vzduchem, a dochází k hmotnostní změně čerstvé náplně ve spalovacím motoru (viz obr. 1).

Mechanicky se regulace uskutečňuje škrticí klapkou v sacím traktu motoru, na kterou reagují další systémy (vstřikování, zapalování, emisní systémy). Směs paliva a vzduchu, která je dodávána do motoru, je konstantní a blíží se stechiometrickému směšovacímu poměru ($\lambda = 1$). Výhodou této regulace je vždy dobře zapalitelná směs, která hoří rychle, a to i při chodu na prázdno. Důležitým aspektem je snaha o co nejjemnější rozprášení paliva ve směsi. To ovlivňuje teplota a tlak. Tato regulace neumožňuje přílišné zvýšení kompresního poměru vlivem možného samozápalu směsi v kompresním zdvihu pístu.



Obrázek 1 - Schéma zážehového motoru koncepce $\lambda = 1$ a jeho kvantitativní regulace (scribd.com, 2016)

3.1.1 Mechanická regulace

Mechanická regulace je starší, dnes už téměř nevyužívaná koncepce řízení motoru, kde je hlavním komponentem **karburátor**. Ten zajišťuje optimální poměr paliva a vzduchu pro každý pracovní bod v charakteristice spalovacího motoru. Hlavní části karburátoru jsou škrticí klapka, jehla, difuzor, směšovací komora - zde dochází k unášení (směšování) kapiček paliva se vzduchem. V závislosti na zatížení motoru dochází k úpravě bohatosti směsi, ta se pohybuje kolem $\lambda = 1$.

Na rozdíl od automobilů je u motocyklů častěji použito více karburátorů, pro které přísluší konkrétní válce. Pro funkční regulaci motoru je nutnost správného seřízení karburátorů. Nevýhoda tohoto systému je omezená regulace bohatosti pro dané otáčky, a zatížení a dále neschopnosti úplného přerušování dodávky paliva při deceleraci.

3.1.2 Elektronická regulace

Jako zástupce moderního kvantitativního řízení motoru je elektronická λ regulace. Palivový systém je založen na nízkotlakém (cca 0,3 - 0,5 MPa) vstřikování paliva do sacího potrubí motoru (nepřímý vstřik) pomocí elektromagneticky ovládaných vstřikovacích ventilů. Vstřikování paliva může být kontinuální, skupinové, nebo selektivní, které je nejčastěji využíváno. I zde je použita škrticí klapka pro kvantitativní regulaci.

System vstřikování je vybaven elektronickou řídicí jednotkou, která vyhodnocuje dobu vstřiku ze vstupních měřených veličin (např. poloha škrticí klapky, poloha vačkového

hřídele, otáčky motoru, teplota motoru, teplota paliva, teplota vzduchu, atmosférický tlak, tlak v sání, signál z lambda sondy a jiné) .

Vstřikování oproti karburátoru má bezesporu tyto výhody:

- úspornější provoz,
- nižší emise,
- lepší průběh točivého momentu,
- jednodušší mechanické díly,
- možnost definovat palivo na základě více veličin,
- možnost odstavit palivo při deceleraci,
- snazší změna dávky paliva,

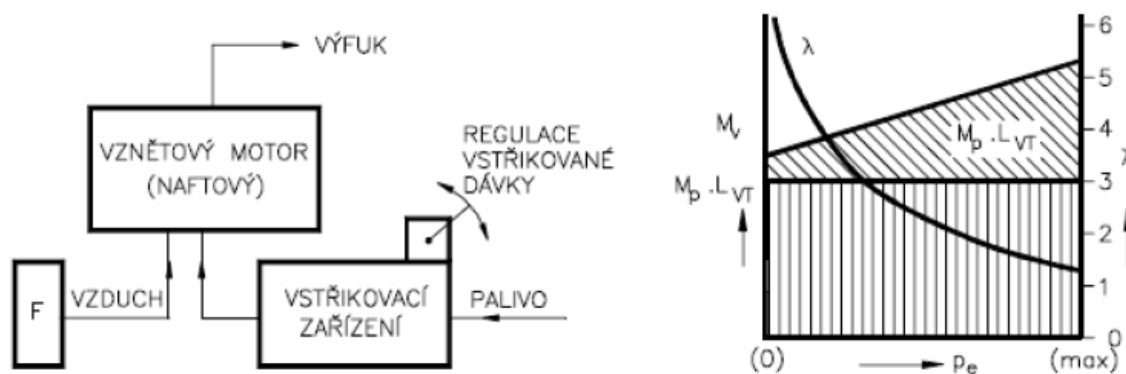
(Rollinger, 2010).

3.2 Regulace kvalitativní

Je to regulace použitá převážně u vznětových motorů. Změna středního efektivního tlaku pracovního oběhu motoru, resp. výkonu je vykonána změnou bohatosti zápalné směsi. Množství nasávaného vzduchu je téměř neměnné v případě motoru bez přeplňování, řídí se pouze množství přiváděného paliva. Směs se tedy s klesajícím se zatížením stále více ochuzuje. Dochází k vysokým směšovacím poměrům, jelikož je zde velký přebytek vzduchu, a tím se snižuje výsledná výhřevnost (viz obr. 2).

U vznětových motorů dochází během výměny náplně k téměř dokonalému plnění čistým vzduchem. Tento vzduch je při kompresním zdvihu motoru stlačován a vysoce se zahřívá. Poté ve vhodném okamžiku dojde k vstříknutí paliva o nízkém bodu vzplanutí do válce motoru, od silně zahřátého vzduchu se vznítí a dojde k expanzi. Vstřikovač ventilů má za úkol co nejjemněji rozprášit palivo, aby se netvořily nespálené kapky (saze). Okamžik, dávku, a tlak paliva, které vstřikovač vstříkuje, řídí řadové nebo rotační čerpadlo, vyjma nových systémů se sdruženými vstřikovači nebo systémy Common Rail generací 1 / 2 / 3 / 4, u kterých je tato operace prováděna elektronicky. Jelikož je vznětový motor konstruován s vyšším kompresním poměrem, a zároveň je ve spalovacím prostoru dosahováno podstatně vyšších tlaků, je dimenzování součástí motorů vyšší ve srovnání se zážehovými motory.

Jelikož se práce zaměřuje na motocykly, je třeba zmínit, že vznětové motory se u nich téměř nepoužívají. Mezi negativa se řadí hlavně velká hmotnost motoru a jeho nízký měrný (objemový) výkon v porovnání se zážehovým motorem. Mezi výjimku ale patří jediný dříve sériově vyráběný motocykl se vznětovým motorem Royal Enfield Taurus Diesel, který má objem 325 cm^3 , výkon 5 kW , a spotřebu paliva okolo $1,5$ litrů na 100 kilometrů.



Obrázek 2 - Schéma nepřehřivaného vznětového motoru a jeho kvalitativní regulace (scribd.com, 2016)

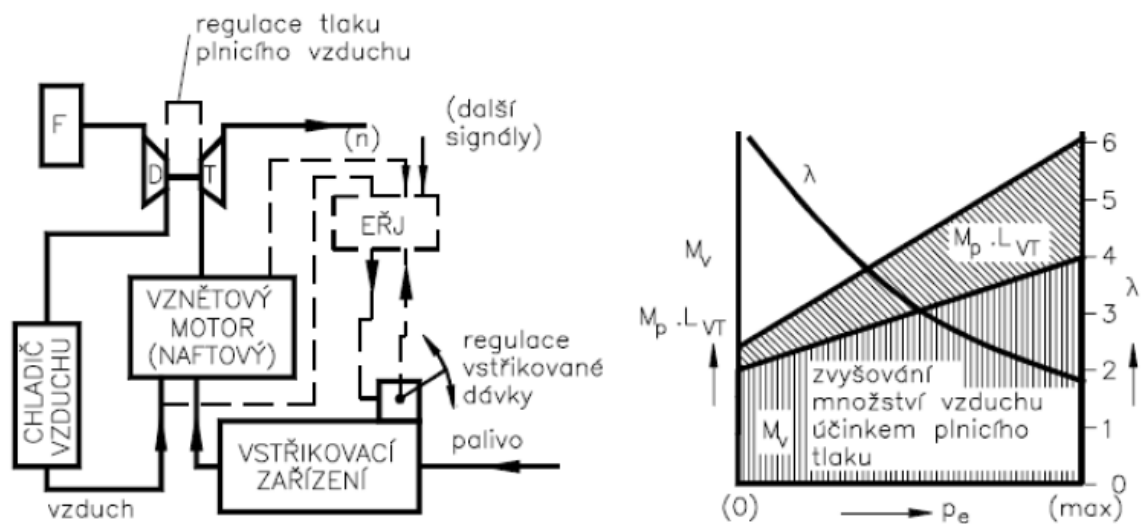
3.3 Regulace smíšená

Smíšená (kombinovaná) regulace spalovacího motoru využívá výhod regulace kvalitativní a kvantitativní. Střední efektivní tlak pracovního oběhu, resp. výkon, je v určité oblasti zatížení řízen změnou bohatosti směsi (viz obr. 3). V dalších oblastech dochází k řízení výkonu prostřednictvím změny hmotnostního naplnění válce. Dále také může docházet k regulaci spalovacího motoru oběma principy současně.

Princip kombinované regulace je současně využíván zejména u vznětových přeplňovaných spalovacích motorů. U těchto vznětových motorů je střední efektivní tlak řízen kvalitativně, tj. změnou dávky paliva a kvantitativně - změnou plnicího tlaku motoru (řízení turbodmychadla, kompresoru).

Ke smíšené regulaci se dá přiřadit i zážehový spalovací motor s přímým vstřikováním paliva, který využívá také kvalitativní a kvantitativní regulaci současně. Zde se uplatňuje tzv. vrstvení směsi (kvalitativní), kdy vznikne lokálně nejčastěji u zapalovací svíčky bohatá (zapalitelná) směs, zatímco u dna pístu a stěn válců je směs silně

ochuzená (nezapalitelná). Proto tento typ řízení zážehového motoru pracuje při částečném zatížení se součinitelem přebytku vzduchu $\lambda > 1$. A dále se střední efektivní tlak řídí kvantitativně - škrticí klapkou v kombinaci se změnou plnicího tlaku v případě přepřlovaného zážehového motoru.



Obrázek 3 - Schéma moderního přepřlovaného vznětového motoru a jeho smíšené regulace (scribd.com, 2016)

4 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PROSTŘEDKY REGULACE MOTOCYKLŮ

O obecné regulaci již bylo řečeno výše, je tedy třeba pojednat o konkrétních technických prvcích regulačního systému (viz obr. 4). U dnešních sportovních motocyklů je použito plně elektronické zapalování a vstřikování, které téměř vytlačilo systémy s karburátory. Tohle plně elektronické řízení se složeno z různých snímačů, řídicí jednotky a akčních členů. U motocyklů je využito řízení motoru na principu sledování podtlaku v sání, zatímco u automobilů je použito snímání průtoku vzduchu (MAF - Mass Air Flow).



Obrázek 4 - Základní komponenty závodní elektroniky YEC Yamaha R6
(gravesport.com, 2010)

(zleva: elektronická řídicí jednotka, kabelový svazek, systém vstřikování a zapalování, alternátor s regulátorem, přístrojová deska)

4.1 Snímače

Senzorová technika je v dnešní době na velmi vysoké technologické úrovni. Díky ní je možno detekovat a pozorovat i velmi těžce identifikovatelné stavy motoru, jeho části a

podmínky provozu. Motocykl je proto vybaven řadou senzorů. Tyto senzory snímají fyzikální veličiny, které jsou nejčastěji prostřednictvím elektrického signálu posílány do řídicí jednotky, která na základě vstupních hodnot vyhodnocuje reakce akčních členů.

Snímače lze rozdělit podle styku s měřeným objektem na dotykové a bezdotykové. Podle vstupní měřicí veličiny na elektrické, magnetické, optické, akustické, mechanické, termické, hydraulické, jaderné, chemické, biologické.

Typy signálů:

- **analogový**
 - informační hodnota je stejnosměrné napětí, proud nebo frekvence; spojité čas; velikost signálu je úměrná hodnotě měřené veličiny;
 - zdrojem tohoto signálu jsou např. snímače tlaku, polohy (rotační, přímočarý), průtoku apod.
- **digitální (číslicový)**
 - binární - jedná se o dvouhodnotový signál, který nabývá pouze dvou hodnot 1 a 0,
 - digitální - komunikace mezi jednotkami, palubními přístroji apod.
 - velmi odolný proti okolnímu rušení. (programujeme.com, 2009)

4.1.1 Snímač polohy

Jedná se o lineární (přimočarý), nebo rotační potenciometr. U motocyklových motorů je hlavně použit pro snímání polohy škrticí klapky (TPS - Throttle Position Sensor), je připojený na hřídel škrticích klapek sacích hrdel. Jelikož se u motocyklů nepoužívá snímač hmotnosti nasávaného vzduchu, je tento parametr prioritní pro zjištění zatížení motoru. Pro správnou funkci je důležité potenciometr pootočit do úhlu, který předepisuje výrobce motocyklu.

Hmotnost nasávaného vzduchu je v řídicí jednotce určena z natočení škrticí klapky a příslušných otáček motoru. Změna hustoty vzduchu v závislosti na teplotě je zohledněna vyhodnocením signálu ze snímače teploty nasávaného vzduchu. (Vlk, 2006)

Dále je rotační potenciometr použit pro snímání polohy akcelérátoru u systému "ride by-wire" (APS - Accelerator Position Sensor), snímání zařazeného rychlostního stupně, snímání natočení výfukové přívěry. Přímočaré potenciometry jsou nejčastěji využity pro snímání zdvihu tlumičů.

Snímače polohy pracují se stejnosměrným napětím v rozmezí 0,5 - 4,5 V a mají lineární charakteristiku (průběh). Pro zvýšení přesnosti měření mohou být ve snímači integrovány dva potenciometry.



Obrázek 5 - Snímač polohy škrticích klapek Mikuni (foto autor)

4.1.2 Snímač otáček a polohy klikové hřídele

Pro stanovení bodu zážehu je použita jako měřicí veličina poloha pístu jen jednoho válce, dopočtem v řídicí jednotce se potom určí poloha těch zbylých. Snímač otáček primárně snímá polohu klikové hřídele, ze které je softwarově odvozen otáčkový signál.

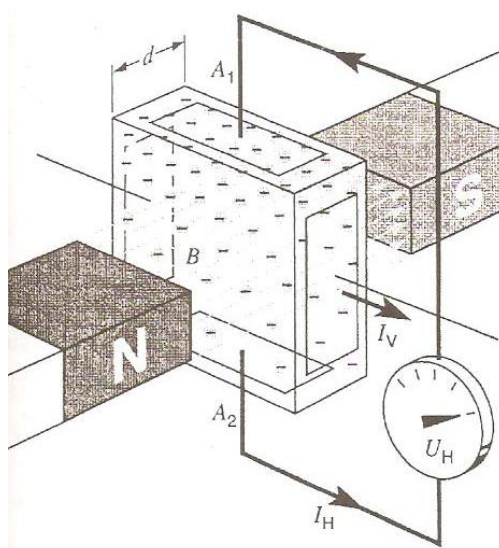
Impulzním kolem je na klikové hřídeli umístěn feromagnetický ozubený kotouč s několika nepravidelně situovanými zuby nebo s pravidelným ozubením, přičemž jsou některé vynechány. Snímání je pomocí dvou vodičového indukčního snímače složeného jádra z měkké oceli s měděnou cívkou a z permanentního magnetu. Otáčením zubů okolo snímače v něm způsobuje měnící se magnetický tok a indukci střídavého napětí. Zvyšující se otáčky způsobují zvětšování amplitudy střídavého napětí. Vstupní obvod řídicí jednotky konvertuje tento sinusový signál s rozdílnou amplitudou na signál o konstantní amplitudě.

Vlivem vynechání nebo nepravidelného umístění zubů dochází k tzv. zubové mezeře. Tato mezera určuje přesnou polohu klikové hřídele, resp. prvního válce, při které dojde k iniciaci a synchronizaci polohy klikové hřídele v řídicí jednotce motoru.

4.1.3 Snímač otáček a polohy vačkové hřídele

K ovládání ventilového rozvodu je použit vačkový hřídel, tento hřídel se otáčí poloviční rychlostí vzhledem k otáčkám klikového hřídele. Podle polohy vačkového hřídele je určeno, zda je příslušný válec ve fázi komprese nebo výfuku. Tento údaj je potřebný pro správnou funkci zapalování a řízení sekvenčního vstřikování motoru.

Poloha vačkového hřídele je nejčastěji snímána Hallovým snímačem (viz Obr. 6). Ten je tvořen prvkem, jehož polovodičovou destičkou prochází elektrický proud. Tento prvek je řízen clonkou, která se otáčí spolu s vačkovým hřídelem. Clonka je zhotovena z feromagnetického materiálu a během jejího otáčení dochází k přerušování permanentního magnetického pole, a v Hallově prvku se tak vytváří napětí, které je kolmé vůči směru magnetického toku. Pohybují-li se elektrony ve vodiči, kterým procházejí siločáry magnetického pole, pak jsou elektrony vychylovány kolmo ke směru průtoku proudu a kolmo ke směru magnetického pole: na A1 vzniká přebytek elektronů a na A2 vzniká jejich nedostatek, což znamená, že mezi A1 a A2 vzniká Hallovo napětí. Tímto tak zvaným Hallovým jevem se vyznačují zejména polovodiče (Vlk, 2006)



Obrázek 6 - Hallův jev (Vlk, 2016)

Legenda obr. 6: B- hustota magnetického toku; I_H - Hallův proud; I_V - napájecí proud; U_H - Hallovo napětí

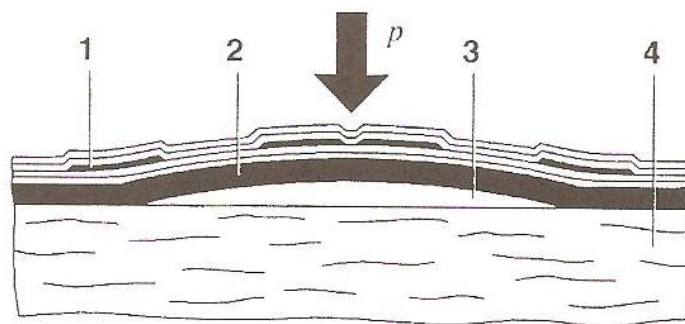
Tento snímač je tedy třívodičový - skládá se ze dvou napájecích vodičů a jednoho signálového. Výstupem z Hallova napětí jsou milivolty, je tedy nutno tento signál elektronickou cestou upravit a zesílit, tato operace je vykonána již ve snímači. Výsledný signál má obdélníkový tvar. K zjištění polohy vačkové hřídele není třeba rotace jako u indukčního snímače.

Snímačem polohy vačkové hřídele je možno měřit otáčky motoru, avšak výstup z něj je pro tuto aplikaci nepřesný, může být ale použit pro nouzový běh motoru způsobeným výpadkem hlavního snímače otáček (klikové hřídele). Dále je možno použít snímač na principu Hallova napětí pro měření otáček kol vozidla (ABS) nebo rychlosti vozidla prostřednictvím snímání ozubených kol v převodové skříně.

4.1.4 Snímač tlaku

Měření tlaku je u motocyklů jeden z nejdůležitějších snímaných veličin, které jsou potřebné pro spolehlivý a efektivní chod motoru. Jedná se zejména o snímač absolutního atmosférického tlaku a snímač absolutního tlaku v sacím potrubí. Z těchto hodnot řídicí jednotka motoru koriguje, resp. vypočítává dávku paliva. Dále je možnost použití adekvátních tlakových čidel pro měření tlaku v brzdovém potrubí, palivovém systému, oleje nebo pneumatikách.

Snímač tlaku je umístěn přímo u snímaného prvku, nebo je pneumaticky (hydraulicky) propojen se snímaným prostředím - snímač integrovaný v řídicí jednotce. Snímač tlaku se skládá z měřicí části a vyhodnocovací části, tyto části jsou umístěny na silikonové destičce. Měřicí část je tvořena zvonovitou membránou, uzavírající prostor s konstantním referenčním tlakem. Samotné měření probíhá na principu prohýbání zmiňované membrány vlivem změnou tlaku, membrána je proto vybavena piezorezistentními odpory, které mění rezistivitu vlivem změny mechanického napětí, obdobně jako u tenzometrů. Vychýlení membrány způsobuje nerovnovážnost odporového můstku, a napětí je potom úměrné velikosti tlaku. Tyto piezorezistentní prvky jsou velmi citlivé na teplotě, je tedy ve vyhodnocovací části počítáno s teplotní kompenzací, zesílení signálu a modulací, aby měl snímač co nejlineárnější charakteristiku.



Obrázek 7 - Membrána s měřicími elementy (Vlk, 2006)

Legenda obr. 7: 1- piezorezistentní odpory; 2- základní membrána; 3- komora s konstantním referenčním tlakem; 4- deska z keramického substrátu; p- tlak vzduchu

4.1.5 Snímač teploty

Pro snímání teplot u vozidel se nejčastěji využívají polovodičové komponenty nazývané termistory. Jsou to dotykové snímače, u kterých se využívá různých odporových vlastností materiálů. Jsou tedy rozlišeny na snímače s teplotním koeficientem kladným (PTC - Positive Temperature Coefficient = pozistor) nebo záporným (NTC - Negative Temperature Coefficient = negastor), tzn., že u výše zmíněného PTC termistoru dochází při zvyšování teploty ke zvyšování jeho odporu, u typů NTC je tomu naopak. Logicky vhodnější je tedy typ NTC, kdy teplota je úměrná velikosti úbytku napětí. Jelikož charakteristika teploty na napětí nebývá vždy lineární, může být v řídicí jednotce uložena tabulka hodnot napětí odpovídajících určité konkrétní teplotě.



Obrázek 8 - Snímač teploty chladicí kapaliny (boschautoparts.com, 2015)

Vzhledem k použití termistorů je lze rozdělit na měření:

- nasávaného vzduchu
 - rozsah $-20 \sim 120$ °C; slouží k výpočtu hmotnosti nasávaného vzduchu
- teploty chladicí kapaliny
 - rozsah $-40 \sim 135$ °C; slouží k zjištění teploty motoru
- motorového oleje
 - rozsah $-40 \sim 180$ °C; možnost posoudit efektivitu mazání
- teploty paliva
 - rozsah $-40 \sim 120$ °C; potřebný údaj pro nastavení přesné dávky paliva
- teploty výfukových plynů (spalin)
 - rozsah $100 \sim 1000$ °C; stanovení teploty výfukového systému a např. východisko k jeho konstrukci



Obrázek 9 - Snímač teploty výfukových plynů (aim-store.com, 2016)

Za zmínku stojí měření teploty pneumatik, což se realizuje dotykově - snímač integrovaný ve ventilku nebo disku, používající bezdrátový přenos hodnot (zároveň se snímá i tlak). Bezdotykově lze pneumatiku snímat také, a to pomocí infračervených pyrometrů umístěných na blatníku, které měří teplotu jejího běhounu. Teplota běhounu se může krátkodobě lokálně zahřívat na vyšší teplotu, přičemž může docházet ke zhoršení adhezivních vlastností.

4.1.6 Snímač klepání

Vlivem detonačního hoření dochází u zážehového motoru ke snížení jeho výkonu a účinnosti. Jedná se tedy o nežádoucí detonační spalování způsobené samozápalou části palivové směsi, která se neiniciovala postupným prohořením, zažehnutým zapalovací svíčkou. Běh pístového spalovacího motoru způsobuje při kompresním zdvihu zvýšení teploty nasávané směsi, a jakmile dojde k hraniční teplotě, dojde k samozápalu. Při detonačním spalování dochází k hoření a prudkému rozpínání části plynů, které naráží do stěn válce a způsobují vibrace, doprovázené specifickým zvukem, rychlost tohoto hoření je okolo $2000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, zatímco u normálního spalování se pohybuje okolo 30 až $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dlouhodobé klepání motoru může způsobit vážné mechanické poškození motoru, zejména pístní skupiny a rozvodu motoru.

Pro odhalení tohoto jevu se používá snímač klepání, který zachycuje a reaguje na tyto charakteristické vibrace, je ale u motocyklů integrován jen zřídka. Snímač klepání je připevněn a přišroubován určitým utahovacím momentem na blok motoru. Lze jej rozdělit na typ rezonanční a nerezonanční. Rezonanční typ se skládá ze seizmické hmoty upevněné na membráně, která rezonuje s určitými vibracemi, ta je spojena s piezoelektrickou keramikou, kde dochází k zachycení napětí, které je sledováno. Tento typ snímače je schopen detekovat klepání jen v malém pásmu otáček motoru. U druhého - nerezonančního typu - se snímá klepání na principu mikrofónu, to vyžaduje složitější zpracování signálu, který se porovnává s frekvenční úrovní a podobou odpovídající určitým otáčkám a zatížení.



Obrázek 10 - Snímač klepání motoru Bosch (boschautoparts.com, 2016)

Jakmile dostane řídicí jednotka motoru informaci o přítomnosti detonačního spalování, regulační systém zasáhne a sníží hodnotu předstihu na takovou míru, až klepání ustane. Po určité době se začne předstih zase zvyšovat až do stavu, kde se začne zase klepání objevovat. Nejlepší hodnota předstihu je těsně před hranicí detonačního spalování, kdy dochází k nejvyšší efektivitě spalovacího procesu.

4.1.7 Snímač přebytku vzduchu

Snímač přebytku vzduchu neboli lambda sonda měří přítomnost (poměr) kyslíku ve spalínách. Měření kyslíku umožňuje diagnostikovat průběh spalování motoru, účinnost katalyzátoru, a hlavně umožňuje zjistit její bohatost spalované směsi. Jelikož stechiometrický hmotnostní poměr paliva a vzduchu je 1 : 14,7, součinitel lambda [λ] nám udává poměr skutečné směsi k poměru stechiometrickému, kde $\lambda < 1$ značí bohatou směs (nedostatek vzduchu), $\lambda = 1$ ideální (bohatost skutečná = teoretická) a $\lambda > 1$ chudou (přebytek vzduchu). Při plném výkonu motoru je $\lambda = 0,85 - 0,95$, zatímco u částečného zatížení je $\lambda = 1,05 - 1,3$. Použití lambda sondy je většinou z důvodu zpětné regulace, kdy řídicí jednotka dává povel obohacení nebo ochuzení směsi, vše v případě ustáleného režimu na částečný výkon. U plného výkonu se řízení lambda nevyužívá. Další možné použití je pro ladění motoru, nebo pro zpětnou kontrolu bohatosti např. u soutěžních vozidel - vyčtenou z příslušného dataloggeru.

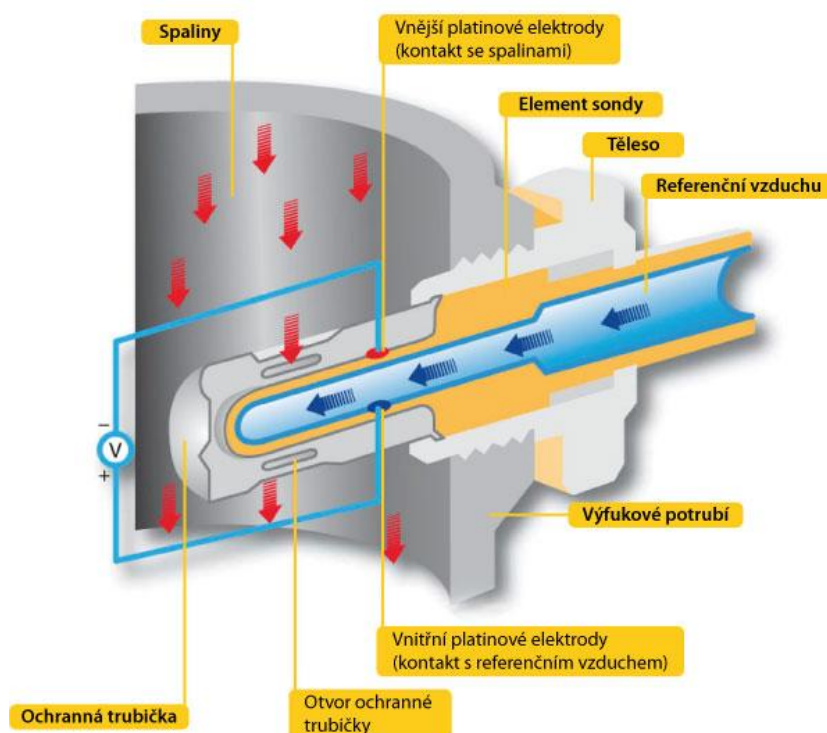
Snímač je umístěn ve výfukovém potrubí, kde jeho část zasahuje přímo do proudu výfukových spalín, kterým musí odolat. Existují dva typy lambda sond - první typ je skoková lambda sonda (oxygen sensor), a druhým typem je širokopásmová lambda sonda, oba typy mají v sobě integrovaný vyhřívací element nutný pro jejich funkčnost.

Nejvíce se používá vyhřívaná lambda sonda s keramikou z dioxidu zirkonia. Funkce této lambda sondy je založena na principu galvanického kyslíkového článku s elektrolytem jako pevnou látkou. Pevný elektrolyt se skládá z jednostranně uzavřeného, pro plyn neprůchodného keramického tělíska z dioxidu zirkonia (ZrO_2 - oxid zirkoničitý), který je stabilizován oxidem yttria. Tato sloučenina oxidů s funkcí voliče kyslíkových iontů odděluje prostor spalín ve výfuku od čistého okolního vzduchu. Povrchové plochy jsou oboustranně opatřeny elektrodami z tenké, vzduchem propustnější platinové vrstvy. Přídavně je na straně výfukových plynů porézní keramická vrstva, jako ochrana proti nečistotě. Kovová trubička s více otvory chrání

keramické tělísko proti mechanickému poškození a teplotním šokům. Vnitřní otevřený prostor je ve spojení s okolním vzduchem, který slouží jako referenční plyn.

Použitý keramický materiál se stává od 350 °C vodivým pro ionty kyslíku. Je-li na opačných stranách sondy různý podíl kyslíku, vzniká mezi oběma hraničními plochami (platinovými elektrodami) elektrické napětí. To je měřítkem pro rozdíl podílu kyslíku na obou stranách sondy. (Vlk, 2006)

Toto napětí se u bohaté směsi pohybuje okolo 800 - 1000 mV, u chudé směsi okolo 100 mV a v přechodové fázi z bohaté do chudé dochází ke skokovému napětí ($\lambda = 1$ je 450 - 500 mV). Tato lambda sonda tedy neumožňuje přesné měření směšovacího poměru, ale jen diagnostiku dvou stavů. Není proto vhodná např. pro ladění motoru.



Obrázek 11 - Lambda sonda NGK s oxidem zirkoničitým (ngk.de, 2016)

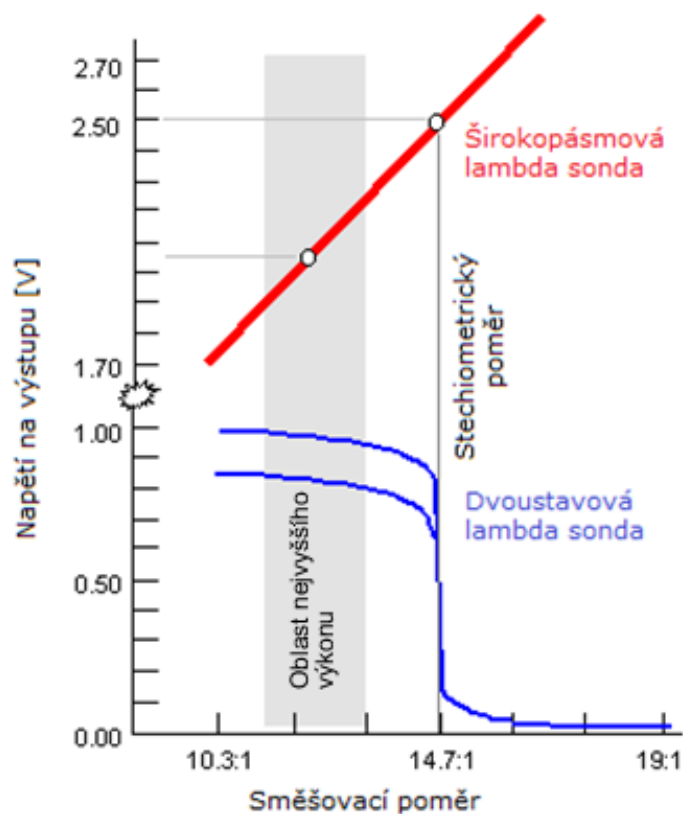
Širokopásmová lambda sonda (wide-band, UEGO, AFR sensor) má téměř lineární charakteristiku závislosti obsahu kyslíku ve spalínách na napětí a umožňuje měřit přesně směšovací poměr nejen v blízkosti toho stechiometrického. Uplatnění této širokopásmové lambda sondy je u motorů, kde je třeba regulace i mimo oblast stechiometrického poměru (přímovstříkové zážehové motory), závodních vozidel, motorových zkušebnách apod. Tato lambda sonda většinou potřebuje pro provoz svou

řídící a vyhodnocovací jednotku (lambda control unit), lze poté odečítat i přímo hodnotu směšovacího poměru. Existují externí zařízení např. Dynojet Autotune, které za pomoci této širokopásmové lambda sondy dokáže během provozu sledovat a následně automaticky přenastavit palivovou mapu v řídicí jednotce (nejčastěji modulátoru vstřikování Dynojet Power Commander V). Tuto funkci umí i jednotky Ignijet2007 (2008) od českého výrobce řídicích jednotek Ignitech. Kombinací snímání a ukládání dat z řídicí jednotky motoru a lambda sondy u soutěžních vozidel, lze zpětně doladit motor přímo na dráze i bez nutnosti použití dynamometru.



Obrázek 12 - Sada modulátoru vstřikování Dynojet Power Commander V s jednotkou Autotune pro automatické naladění motocyklu a širokopásmovou lambda sondou Bosch LSU 4.2 (powercommander.com, 2016)

Širokopásmové lambda sondy mají dva články - měřicí článek a čerpací článek. Pomocí měřicího článku se porovnává obsah kyslíku ve spalínách, které se nacházejí v detekční komoře, s požadovanou hodnotou 450 mV. Pokud se tato hodnota liší, tak se zapnutím proudu pumpy do článku načerpá nebo odčerpá tolik iontů kyslíku do detekční komory, až bude napěťová hodnota měřicího článku opět odpovídat 450 mV. Tento proud pumpy je měřenou veličinou, která skoro lineárně popisuje přesnou hodnotu lambda směsi. Při stechiometrickém poměru směsi je rovno nule, protože parciální tlak kyslíku v detekční komoře odpovídá výše uvedené požadované hodnotě. (ngk.de, 2016)

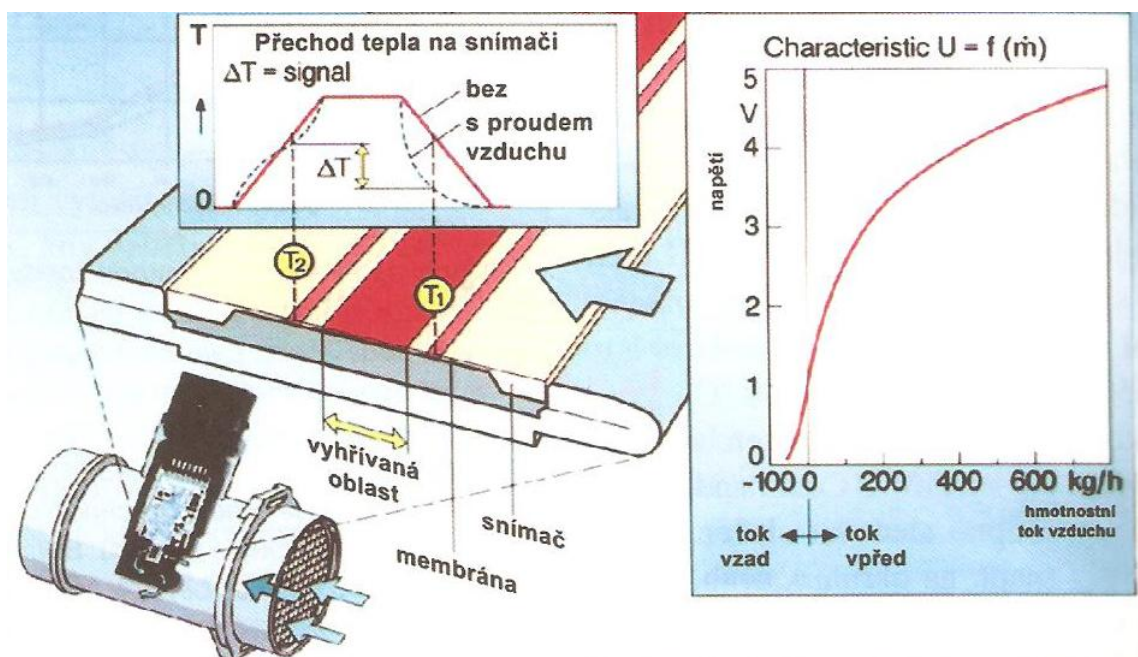


Obrázek 13 - Porovnání napěťových charakteristik různých lambda sond
(enginebasics.com, 2010)

4.1.8 Snímač hmotnosti vzduchu

MAF senzor (Mass Air Flow Sensor) je snímačem vyskytujícím se spíše u automobilů. Jedná se o měření hmotnostního toku vzduchu, jakožto hlavního parametru pro výpočet množství paliva.

Snímač je umístěn v sacím potrubí a proudí přes něj vzduch. U starších systémů celým průřezem, nyní jen jeho určitou částí. Využívá se termické metody. Keramická destička vystavená toku vzduchu má na jedné straně napařen vyhřívací rezistor, a na druhé straně rezistor snímací. Tok vzduchu chladí vyhřívací rezistor tak silně, jak rychle vzduch proudí. Elektronický řídicí obvod snímače zajišťuje, aby teplota vyhřívaného rezistoru byla stále stejná, a tak při vyšším chlazení (vyšší tok vzduchu) je nutné pouštět do rezistoru vyšší proud. Výstupem snímače je napětí úměrné velikosti vyhřívacího proudu, čili velikost hmotnostního toku vzduchu snímačem. (Rollinger, 2006)



Obrázek 14 - Charakteristika MAF senzoru a pohled na jeho měřicí část
(Rollinger, 2006)

4.2 Řídicí jednotka

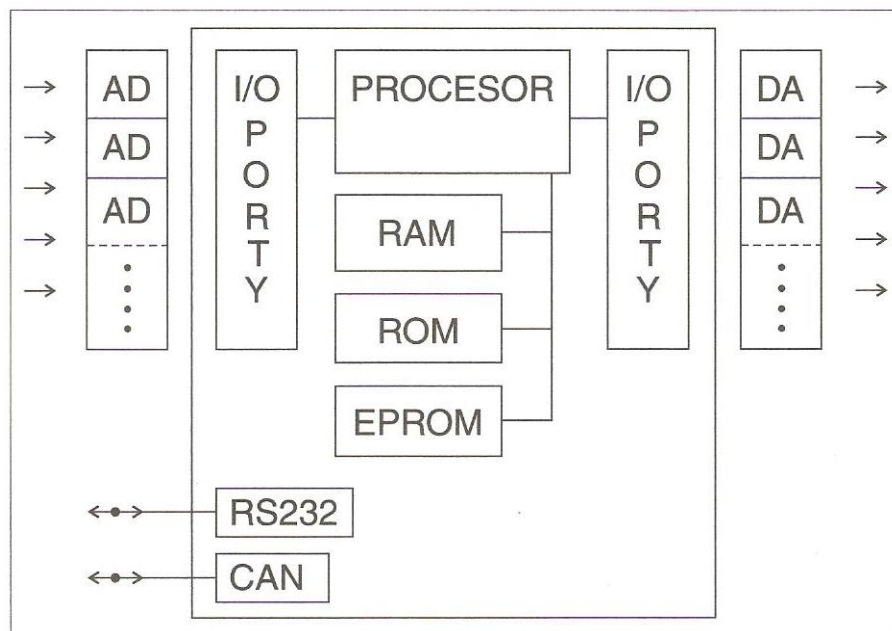
Řídicí jednotka je mozek motoru, který vyhodnocuje signály získané ze snímačů a vytváří signály pro řízení akčních prvků regulace. Základním úkolem řídicí jednotky je výpočet doby paliva, dávky paliva a určení okamžiku jeho zapálení v závislosti na provozním režimu motoru, periferní jsou: řízení točivého momentu (kontrola trakce), startovací omezovač (launch control), funkce rychlořazení, ovládání emisních systémů, ovládání relé (ventilátor, palivové čerpadlo), ovládání systému ride-by-wire, ovládání sací/výfukové přívěry apod.

Její architektura je složená z několika sekcí:

- **Procesor** - činná jednotka, která vykonává naprogramované operace (pracuje s paměťmi, ovládá výstupy a vstupy), a zároveň řídí provoz celé jednotky.
- **Paměť** - jsou v nich uloženy informace pro řízení motoru, se kterými procesor pracuje, lze je dělit na:
 - **ROM** - "Read-only memory", tzv. trvalá paměť, která umožňuje jen čtení dat, která jsou v ní uložena. Má dlouhou přístupovou dobu, proto se část

dat může po přítomnosti elektřiny zkopírovat do paměti RAM. Obsahuje algoritmy pro řízení motoru.

- **RAM** - "Random access memory", tzv. libovolné paměťové místo, jinými slovy přepisovatelná paměť, která pracuje s dočasnými daty. Má rychlou přístupovou dobu, ale po ztrátě napájení se data ztratí.
 - **PROM** - "Programmable read-only memory", paměť, do které je možno nahrát pouze jednou data, která jsou v ní poté nesmazatelně uložena a je jej možno pouze číst.
 - **EPROM** - "Erasable programmable read-only memory", paměť fungující na principu PROM s rozdílem, že je zde možnost výmazu dat, nejčastěji za přítomnosti UV záření. Poté lze paměť znovu naprogramovat.
 - **EEPROM** - "Electrically erasable programmable read-only memory", paměť, kterou lze kdykoliv přepsat a vymazat bez externího zásahu. Nízká operační rychlost, nízké riziko ztráty dat. (Štěrba, 2010)
- **Sběrnice** - linky, umožňující přenos informací mezi procesorem, paměťmi, vstupními a výstupními obvody a diagnostickými linkami.
 - **A/D D/A převodníky** - převodníky, které převádí analogový signál na digitální a opačně. A/D převádí signály získané ze snímačů na signály srozumitelné pro řídicí jednotku. D/A převodníky převádí výstupní digitální signál na signál potřebný pro řízení akčních členů, jsou často spojené s výkonnými stupni (nejčastěji tranzistory).
 - **K-line, CAN-BUS** - diagnostické komunikační linky vysílající digitální signál pro komunikaci s přístrojovou deskou, dalšími řídicími jednotkami a ostatními elektronickými zařízeními.



Obrázek 15 - Příklad architektury řídicí jednotky (Štěrbá, 2010)

4.3 Řídicí strategie

4.3.1 Stanovení dávky paliva

Základní dodávka paliva je závislá na otáčkách motoru a jeho zatížení. Kombinujeme-li tyto veličiny dohromady, získáme tzv. palivové mapy. Hodnoty v palivových mapách mohou nabývat pro každou kombinaci otáček a zatížení velikosti 0 až 255 (1 byte), a odpovídají době otevření vstřikovacího ventilu. Konkrétní data musíme získat na základě řady zkoušek prováděných na motorovém dynamometru.

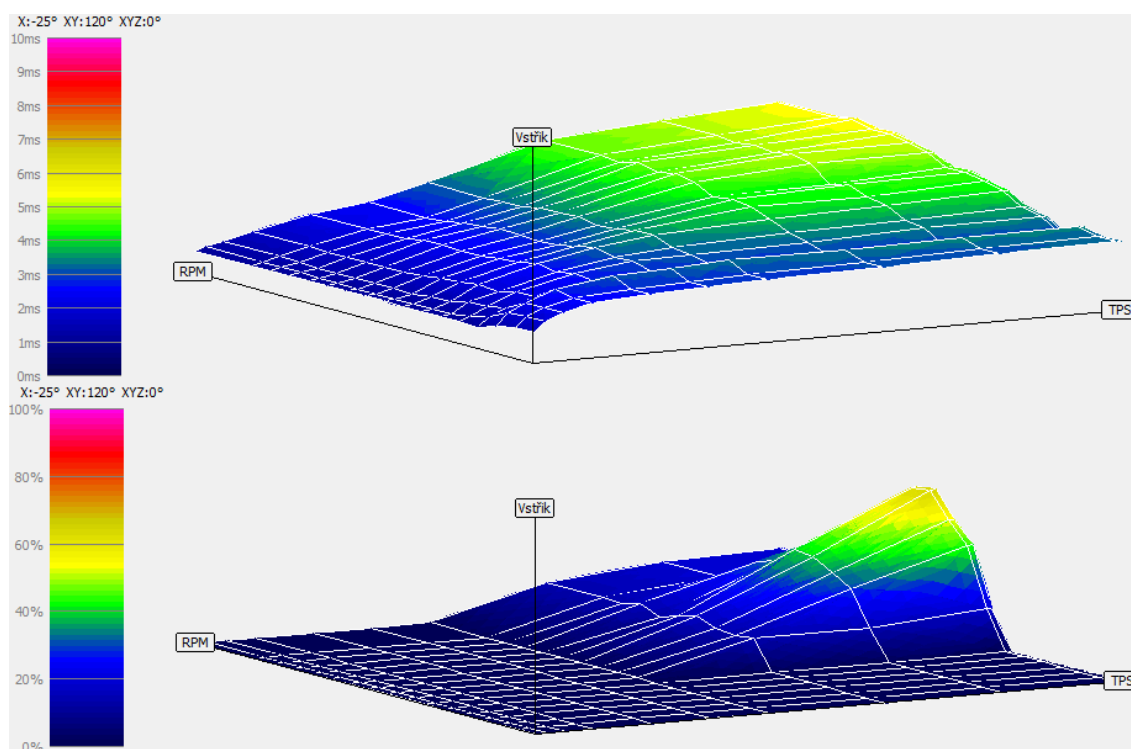
Základní dodávka paliva se bude korigovat podle vnějších vlivů tak, aby bylo zajištěno stálé složení směsi. Hlavními veličinami budou:

- barometrický tlak,
- teplota nasávaného vzduchu,
- teplota motoru,
- teplota paliva,
- napětí palubní sítě.

Tyto jednotlivé korekce budou obsahovat tabulky, o kolik % se bude upravovat základní dodávka paliva. Tabulky však nebudou obsahovat jednotlivá %, ale opět "počítačové"

vyjádření v hodnotách 0 až 255. Vzhledem k tomu, že korekce mohou nabývat kladných i záporných hodnot, bude nulové korekci odpovídat hodnota 128 a ostatní hodnoty budou vztaženy k tomuto středu. (Štěrbá, 2010)

Řídicí jednotka dále umožní obohacení paliva při plném výkonu nebo prudké akceleraci, ochuzení nebo vypnutí vstřikování v případě decelerace, kalibraci vstřikovačů (každý má odlišnou charakteristiku), určí procentuelní poměr vstřikované dávky mezi primárními a sekundárními vstřikovači u systémů s duálním vstřikem apod. Okamžik vstřikovací doby je korigován otáčkami, zatížením, teplotou nasávaného vzduchu, teplotou motoru a jinými parametry tak, aby bylo zachováno optimální složení v každém válci z důvodů výkonu, spotřeby a emisí.

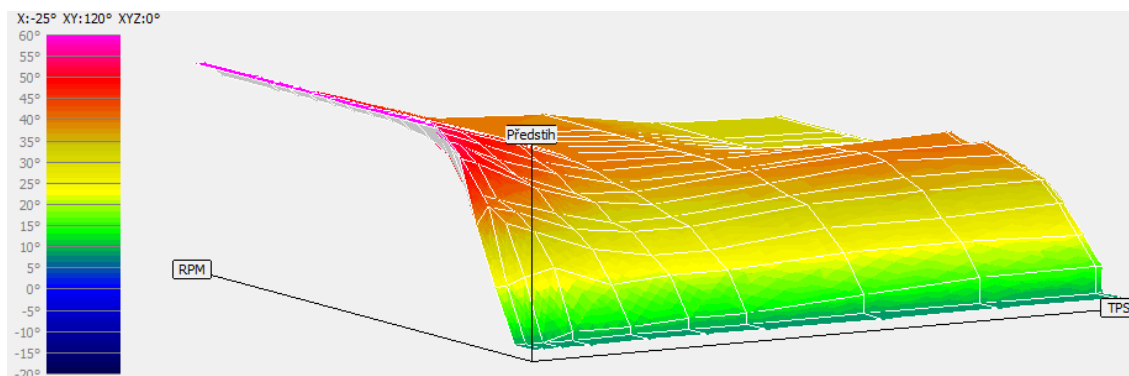


Obrázek 16 - Základní palivová mapa pro motocykl Yamaha R6 2008 v řídicí jednotce Ignitech Ignijet 2007 - mapa vstřikované dávka paliva v závislosti na zatížení a otáčkách (nahore) a mapa procentuálního podílu vstřikované dávky sekundárním vstřikovačem (dole)

4.3.2 Stanovení okamžiku zážehu

Základními parametry při výpočtu úhlu zážehu jsou otáčky a zatížení motoru, v řídicí jednotce je tedy uložena tzv. předstihová mapa. Počítá se zde také s korekcí úhlu zážehu vlivem dalších parametrů, jakož jsou teplota motoru (teplejší motor je náchylnější k

detonačnímu spalování a vyšší tvorba NO_x), teplota nasávaného vzduchu, snímač klepání. Obecně u příliš velkého předstihu dochází k tepelnému a mechanickému namáhání motoru, zatímco u příliš nízkého předstihu dochází ke ztrátě výkonu a zahřívání výfukového systému vlivem dohoření směsi ve výfuku. Někdy je nízký předstih žádoucí, například při rychlém zahřátí katalyzátoru na provozní teplotu.



Obrázek 17 - Základní předstihová mapa pro motocykl Yamaha R6 2008 v řídicí jednotce Ignitech Ignijet 2007 - mapa úhlu předstihu v závislosti na zatížení a otáčkách motoru

4.3.3 Snížení točivého momentu

Snížení točivého momentu proti vůli řidiče je za určitých podmínek žádoucí. Pracují s ním systémy kontroly trakce (TCS, TC, ATC, DTC, ASR, apod.). Vlivem prudké akcelerace, nebo jízdy na povrchu s nízkou adhezí, může dojít k nekontrolovanému prokluzu hnacího kola. Pro zamezení tohoto jevu je třeba okamžitě snížit generovaný točivý moment motoru. Existuje mnoho způsobů, jak toho docílit. První, a ne ideální cestou je jen snížení předstihu úhlu zážehu. Tím dojde ke snížení točivého momentu, ale zároveň také ke zbytečné spotřebě paliva a produkci škodlivin. Druhým způsobem je přímá kooperace systému kontroly trakce s regulačním systémem motocyklu, využívající ovládání "ride-by-wire". Zde dochází k omezení točivého momentu změnou natočení škrticích klapky, snížením dávky paliva a snížením předstihu, s následnou menší produkcí škodlivin a nižší spotřebou paliva.

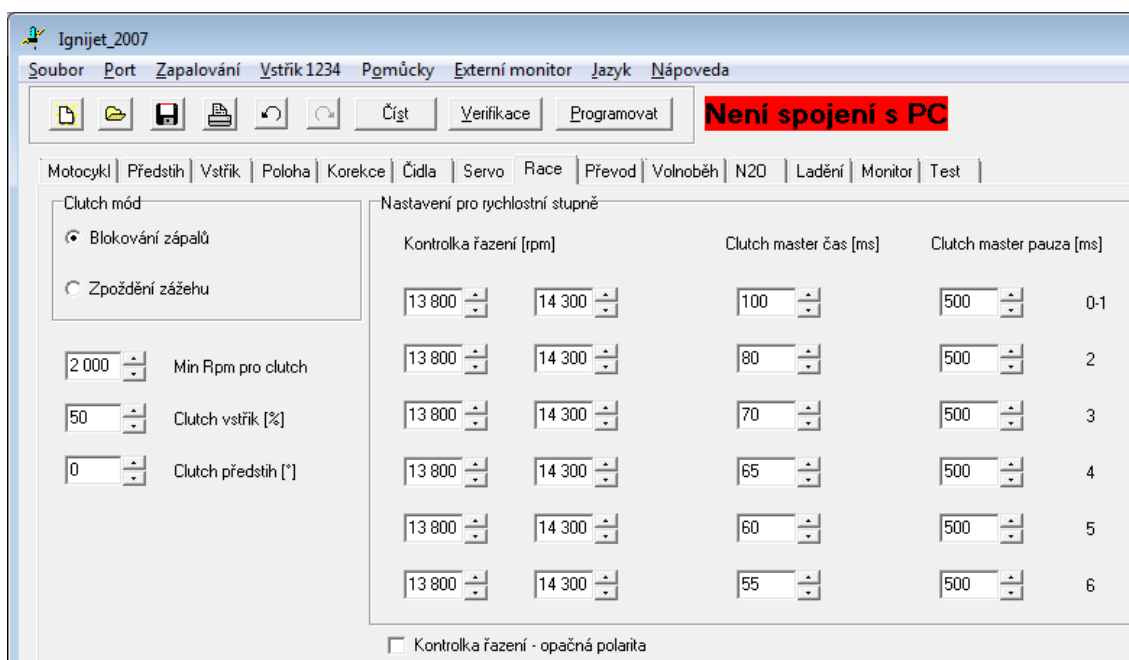
Kontrola trakce nejčastěji registruje nežádoucí prokluz neustálým porovnáváním otáček kol mezi sebou, čidlem náklonu a snímačem bočního a podélného zrychlení. Dalším způsobem zaznamenání potřeby omezit výkon je integrace algoritmu v řídicí jednotce,

který sleduje zrychlení otáček motoru. Jakmile dojde k překonání nastavené hranice hodnoty zrychlení, jednotka zareaguje snížením točivého momentu.

4.3.4 Funkce rychlořazení (quickshift, clutchmaster)

Závodní řídicí jednotky umožňují tzv. funkci rychlořazení, tedy snížení výkonu při řazení rychlostních stupňů. To lze aplikovat jen u sekvenčních nebo automatických převodovek. Vlivem působení točivého momentu jsou ozubené převody samosvorné. Při krátkodobém odlehčení převodu je možno přeřadit na vyšší rychlostní stupeň. Jednotka je vybavena vstupem pro tlakový snímač, který je vřazen do táhla řadicí páky. Tento snímač může být klasickým spínačem, nebo lze použít dražší řešení v podobě tenzometru a jeho řídicí jednotky, kde lze jednoduše nastavit práh (threshold) síly sepnutí. Existuje více způsobů krátkodobého snížení točivého momentu. Nejvíce rozšířené je však vynechání zapalování nebo zpoždění úhlu zážehu a jeho postupné vracení (Ignitech Ignijet2007). Druhým způsobem je krátkodobé vypnutí vstřikování. Tuto funkci umí např. modifikátor vstřikování Dynojet Power Commander, avšak ne u systému s duálním vstřikem. Programovatelná řídicí jednotka Shifting Control 2 může kombinovat oba způsoby.

U sofistikovaných systémů přerazování na vyšší rychlostní stupeň je zakomponováno snímání aktuálně zařazeného rychlostního stupně, jelikož pro ideální funkčnost systému je třeba zohledňovat dobu decelerace motoru z řadicích otáček na otáčky nově zvoleného převodového stupně. Doba vypnutí se pohybuje přibližně od 40 - 80 ms. Snímání aktuálně zařazeného převodového stupně se provádí pomocí snímače polohy (potenciometru) nebo matematickým výpočtem převodového stupně z otáček motoru a otáček zadního kola (výstupu s převodovky). Vlivem vibrací a vůlí v řadicí páce a jejím táhlu může dojít ve snímači k nechtěné iniciaci, proto je ve vypínacím algoritmu počítáno s určitou prodlevou, která začne po přeřazení a může trvat dle nastavení okolo 0,2 - 0,5 sekund, a během které není umožněna další redukce výkonu pro přeřazení.



Obrázek 18 - Podrobné nastavení funkce clutchmaster v řídicí jednotce Ignitech Ignijet2007

4.4 Akční prvky

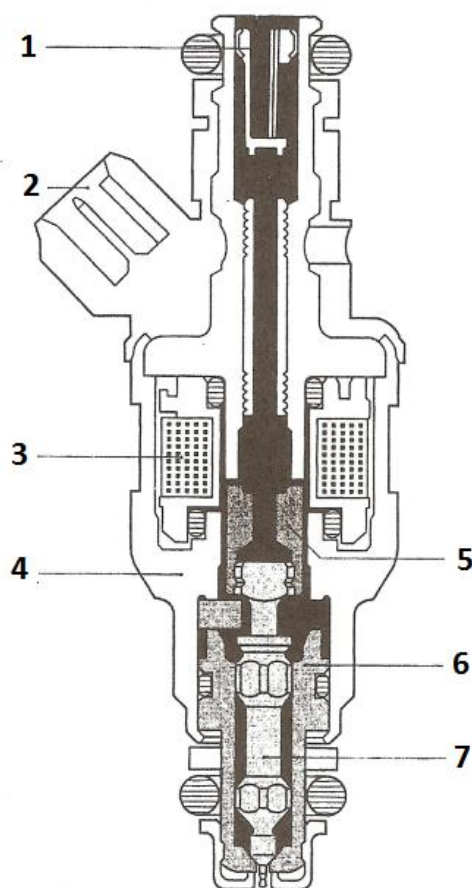
Výsledkem procesů v řídicí jednotce je ovládání tzv. akčních prvků a jejich součinnosti. Tyto akční prvky představují různé hardwarové komponenty, jako jsou: vstříkovací ventil, zapalovací cívka, palivové čerpadlo, servomotor ovládání variabilní délky sacích hrdel, servomotor škrticí klapky, ventilátor, EGR ventil, a jiné.

4.4.1 Vstříkovací ventil

Pro přesné nadávkování paliva do motoru je použito vstříkovacího ventilu. Množství vstříkovaného paliva lze měnit změnou doby otevření ventilu, změnou tlaku paliva a geometrií vstříku. Samotné vstříknutí paliva je uskutečněno uzemněním elektromagnetické cívky vstříkovacího ventilu v elektronické řídicí jednotce low side switchem (N kanálový FET), na které je přivedeno trvalé napětí (nejčastěji 12 V), následkem působení elektromagnetického pole se zdvihne kotva s jehlou, a dojde k propuštění natlakovaného paliva (0,3 - 0,5 MPa) přes vstříkovací trysky. Při absenci elektrického proudu kotva s jehlou uzavře přívod paliva pomocí vratné pružiny. Moderní vstříkovače mají až 12 menších vstříkovacích trysek namísto jedné větší, to z

důvodu lepšího rozprášení paliva a snazšímu promísení se vzduchem. Palivo musí být proto důkladně přefiltrováno a čisté, aby se vstříkovač neucpal.

Každý vstříkovač má definovaný průběh vstřiku, zejména dobu otevření a uzavření. S tímto průběhem musí být při programování řídicích algoritmů počítáno. Celková doba otevření na jeden pracovní cyklus motoru se pohybuje od 1,5 - 18 ms, s přibývajícím otáčkami se zmenšuje čas dostupný pro dávku paliva, proto je někdy použito paralelního vstříkovače, nejčastěji u velkoobjemových dvouválcových motorů. S přibývajícím otáčkami se také zmenšuje doba pro kvalitní promísení se vzduchem, proto jsou některé vysokootáčkové motory vybaveny sekundárním vstříkovačem v airboxu. Ten vstříkuje při vysokých otáčkách část paliva dále od spalovacího prostoru - cestou tedy dojde ke kvalitnějšímu promísení, než v případě vstříknutí primárním vstříkovačem.



Obrázek 19 - Řez vstříkovacím ventilem (Vlk, 2004)

Legenda obr. 4: 1- filtrovací sítko; 2- elektrický konektor; 3- vinutí elektromagnetu;
4- těleso ventilu; 5- kotva; 6- tělo ventilu; 7- jehla ventilu

4.4.2 Zapalovací systém

U všech zážehových motorů je směs paliva a vzduchu zapalována cizím zdrojem. To se provádí elektrickou jiskrou. Zapalovací zařízení má za úkol zapálit směs paliva a vzduchu za všech provozních podmínek, a zahájit spalování. K tomu je potřeba přetransformovat 12 V napětí akumulátoru na asi 8000 - 24000 V. Současně musí být k dispozici dostatek zápalné energie, aby se v každém kompresním zdvihu získala zápalná jiskra s co nejdelší dobou hoření. (Vlk, 2006)

Pro iniciaci palivové směsi se používá zapalovací svíčka. Zapalovací svíčka může mít různé parametry, jako je tepelná hodnota, montážní závit, typ připojení, typ jiskřiště, počet elektrod apod. Nutno tedy instalovat zapalovací svíčky nebo jejich odpovídající ekvivalenty předepsané výrobcem motorů. Životnost svíčky je obecně od 6000 - 30000 km, a závisí na režimu provozu, typu motoru a jiných dalších parametrech.

Jak již bylo zmíněno výše, je potřeba vysokého napětí, aby k přeskočení došlo. K transformaci napětí z 12 V na cca 20000 V je třeba zapalovací cívky. Současné zapalovací cívky použité ve sportovních motocyklech jsou jednojiskrové - tužkové, které jsou zasunuty přímo do jímky pro svíčku v hlavě motoru. Toto řešení eliminuje vysokonapěťový rozvod.



Obrázek 20 - Zapalovací cívka Denso - násuvná na svíčku (denso-am.eu, 2016)

4.4.3 Elektronická škrticí klapka

Standardní mechanická škrticí klapka je vybavena pouze snímačem polohy. Elektronicky řízená klapka dostává impulzy z řídicí jednotky, a pomocí servomotoru ony klapky natáčí. Jedná se o tzv. systém "ride-by-wire". Natočení plynové rukojeti

může být mechanicky za pomoci lanek transferováno pod nádrž, kde je umístěn otočný potenciometr. Na nových motocyklech se už objevují i snímače integrované přímo v plynové rukojeti, zejména u závodních motocyklů. Odpadá tak mechanická vazba, a s tím také problémy se zasekáním a vůlemi v lanovém systému. Někteří výrobci ale přeci jen v systému "ride-by-wire" použití lanek zachovávají, pravděpodobně z důvodu bezpečnostní pojistky, kdy je možno při poruše elektroniky škrticí klapky zavřít mechanicky. Pro zpětnou vazbu momentální polohy škrticích klapek je nainstalován na hřídel klapky druhý - kontrolní snímač polohy.



Obrázek 21 - Plynová rukojeť s integrovaným snímačem polohy (gpone.com, 2014)

Elektronická škrticí klapka posunuje regulační systém technologicky výrazně dopředu a má několik nesporných výhod. Pro řízení volnoběhu není třeba zvláštního příslušenství, jelikož jde jednoduše nastavit úhel pootevření. Veškeré redukce výkonu je možné realizovat synchronně s ostatními systémy, ne jen např. snížením předstihu. Další výhodou je individuální nastavení charakteristiky spalovacích motorů vysocevýkonných motocyklů nebo použití méně agresivní reakce na plyn pro jízdu na povrchu se sníženou adhezí.

4.4.4 Variabilní délka sacího potrubí

Obecně je nutno podle teorie pro ideální plnění motoru v nízkých otáčkách dlouhého sacího potrubí menšího průměru, zatímco ve vysokých otáčkách je tomu naopak, tedy krátké a široké. Místo konstrukčního kompromisu při navrhování sacího traktu je u některých motocyklů zvolena cesta s variabilní délkou sacího potrubí. Tento systém je složen nejčastěji z dvou sad sacích "trumpetek" umístěných před škrticí klapkou v airboxu, které se vzájemně do sebe zasouvají a dochází tak ke změně délky sacího potrubí. Tyto pohyblivé segmenty ovládá servomotor prostřednictvím pákových mechanismů. Změna délky sacího potrubí přichází skokově, a to v definovaných otáčkách. Celý proces ovládá řídicí jednotka.

Integrací změny délky sacího potrubí lze dosáhnout lepšího průběhu točivého momentu v širším spektru otáček, resp. ke zlepšení účinnosti motoru. Nejčastěji přepnutím hrdel dojde ke zkrácení sacího traktu. Podobný mechanismus může být vřazen i do výfukového potrubí, u závodních motocyklů je však výfuková přívěra většinou vyloučena.



Obrázek 22 - Systém variabilní délky sacích hrdel YCC-i (yamaha-motor.com, 2006)

4.5 Softwarové nástroje pro kompilaci zdrojových kódů

Data, která jsou uložena v paměti řídicí jednotky motoru, lze často změnit. Pro tuto editaci se používají softwarové nástroje, které jsou schopny komunikovat s řídicími jednotkami a měnit v nich uložené informace. K programovatelným jednotkám je tento software k dispozici, a je zde přesný postup pro docílení komunikace. To neplatí u sériově integrovaných jednotek. V těch je informační obsah možno změnit také, výrobce si však tuto funkci střeží z mnohých důvodů (emise, výkon apod.), ale i přes zabezpečení výrobce se lze setkat s modifikací dat, nejčastěji nazývanou "chiptuning".

Jak již bylo psáno, pro každou programovatelnou jednotku výrobce dodává komunikační software a rozhraní. V těchto softwarech lze měnit data, ve kterých řídicí jednotka čte a vyhodnocuje z těchto informací řízení aktuátorů. Vzhledem k různým typům produktů je možnost změny od některých hodnot, nejčastěji palivových map, až po kompletní obsah. Např. u jednotek Ignitech lze v dodávaném software modifikovat nejen vstřikovací, zapalovací rastry, ale i charakteristiky různých čidel, omezovače, korekce, a jiné.

4.6 Protokolární vrstvy přístupu do ECU

Fyzická vrstva je první vrstva síťové architektury a zajišťuje transformaci informací (bitů) mezi odesílatelem a příjemcem na úrovni fyzických veličin, jako je napětí, proud, frekvence apod. Realizace tohoto přenosu signálu je hardwarová. Tato vrstva zpracovává signál, určuje parametry hardwarových komponentů určených pro přenos dat a jejich specifikace.

U starších jednotek je využito sériového komunikačního rozhraní RS-232. Toto rozhraní umožňuje vzájemnou sériovou komunikaci dvou zařízení, např. počítače a ECU, kde jsou jednotlivé bity přenášeny za sebou po jednom páru vodičů. Logický stav bitu je 0 a 1, ten je reprezentován různým napětím. Pro komunikaci je třeba celkem tři vodičů – RxD (přijímací data), TxD (vysílací data), GND (stínění).

U modernějších řídicích jednotek je pro komunikaci použita sběrnice CAN-BUS (Controller Area Network). Ta byla vyvinuta kvůli zvyšujícím se počtu řídicích jednotek ve vozidlech a potřebné jednoduché komunikaci mezi nimi. Komunikace

probíhá po jednom páru přesně kroucených vodičů (CAN_H, CAN_L). Informace je poskytnuta všem řídicím jednotkám, přijmout ji však může pouze tak, které je informace posílána.

4.6.1 Využití protokolu XCP

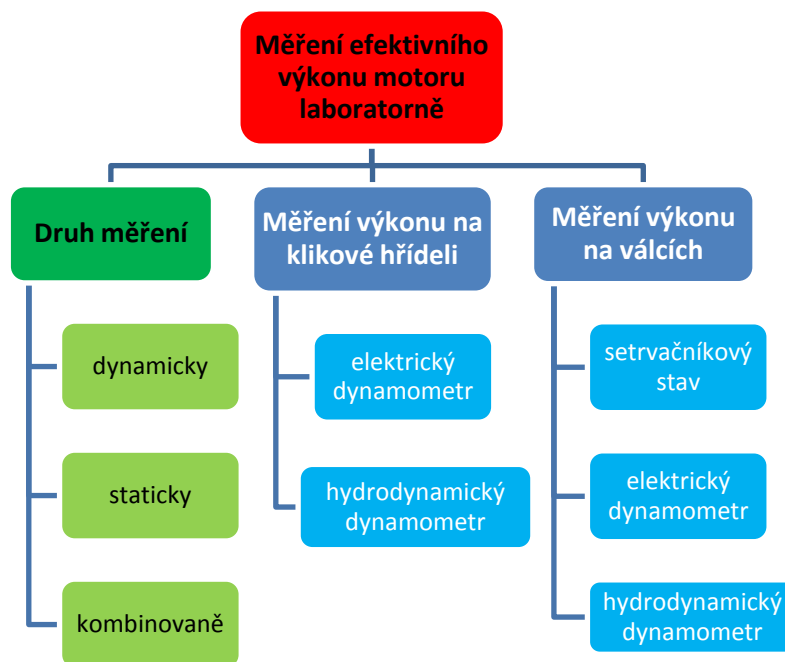
Protokol XCP je protokol vyvinutý pro kalibraci a měření vnitřních parametrů řídicí jednotky a podporuje rozhraní jako je CAN, Flex Ray, Ethernet, USB. Pomocí tohoto protokolu je možno přeprogramovat řídicí jednotku bez nutnosti její demontáže, musí však být vybavena XCP softwarovým modulem. Protokol umožňuje přepisovat data a další parametry v paměti řídicí jednotky bez nutnosti dalších nástrojů a software výrobce jednotky. Mezi výhody použití XCP je možnost velké škály operací mezi ECU a PC, funkce „plug’n’play“, přesnější a synchronizované měření dat. (vector.com, 2016).

5 MATERIÁL A METODIKA

5.1 Měření výkonu vozidel

Ve zkušebnictví vozidel se vedle praktických jízdních zkoušek používají ke zjišťování výkonových, funkčních a brzdných vlastností vozidlové zkušebny. Stacionární zkoušení motorových vozidel na válcových zkušebnách je založeno na principu, který spočívá v tom, že zkoušené vozidlo stojí a "vozovka" se pohybuje. Pohybující se "vozovkou" jsou otočné válce, na kterých - podle druhu zkušebny - spočívají hnací kola vozidla, nebo všechna kola, příp. kola nápravy, jejíž brzdný účinek je zjišťován.

Zkoušení na válcových stanicích má tedy oproti silničním zkouškám řadu výhod: konstantní klimatické podmínky (klimatická komora - zadaná teplota okolo, rychlost větru, tlak a vlhkost vzduchu) a konstantní provozní podmínky (bez vlivu stoupání, vyloučení vlivu okolní dopravy, vyloučení subjektivních pocitů zkušebního řidiče). (Vlk, 2005)



Obrázek 23 - Způsoby a druhy měření výkonu motoru

5.1.1 Dynamické měření

Při dynamickém měření je motor krátkodobě zatížen setrvačnými hmotami jak samotného motocyklu, tak válce, který je roztáčen, a který je součástí měřicího zařízení.

Válce mívají obvykle hmotnost kolem 200kg (někdy až 800kg), moment setrvačnosti je závislý jak na hmotnosti tělesa, tak na konstrukčním rozdělení hmoty vůči ose rotace.

Zařízení měří pouze úhlové zrychlení válce. Z níže uvedeného vztahu vychází točivý moment a výkon (vše na zadním kole). Pokud známe převodový poměr a ztráty, jsme schopni určit parametry motoru. (Rollinger, 2006)

$$M = I \cdot \varepsilon [Nm] \quad (1)$$

M - točivý moment [N.m], I - moment setrvačnosti [kg.m²], ε - úhlové zrychlení [s⁻²]

5.1.2 Statické měření

Statické řešení spočívá v dlouhodobém zatížení motoru, které nakonfiguruje obsluha zkušebny. Je jej možno realizovat jen ve zkušebnách vybavených dynamometrem, jelikož setrvačnickový stav neumí generovat brzdný moment. Měří se zde výkon působící při konstantních otáčkách motoru. Brzdit motor lze pomocí elektrického vířivého dynamometru, hydraulického dynamometru, nebo dynamometru se stejnosměrným či střídavým motorem. Samotné měření spočívá v měření síly na obvodu kola. Tato síla je převedena přes výkyvně uložený dynamometr, který se pákou o známé délce opírá o siloměrné zařízení, resp. tenzometr.

$$P = M \cdot \omega [W] \quad (2)$$

P- výkon [W], M- točivý moment [Nm], ω - úhlová rychlost [rad.s⁻¹]

Před měřením se určí body otáčkových hodnot, na kterých bude motor určitý čas brzděn. Když je motor zatížen konstantně a déle dochází v motoru k lepší stabilizaci teplot a konstantnímu prohřátí, tím je měření přesnější. Avšak toto měření neumožňuje vykreslení spojitého grafu, ale může sloužit např. k porovnání správnosti dynamické zkoušky.

5.1.3 Kombinace dynamické a statické metody

Touto kombinací je možno obohatit dynamickou metodu zkoušení výkonu o konstantní zatížení nebo konstantní úhlové zrychlení. Zatížení musí být menší než výkon zkoušeného motoru. Konstantním úhlovým zrychlením lze dosáhnout rovnoměrného zatížení motoru v celém spektru otáček. Těmito nadstandardními způsoby docílíme přesnějšího výsledku, jelikož celá zkouška bude časově delší.

5.1.4 Měření ztrát

Při přenosu točivého momentu z motoru na vozovku dochází k poklesu tohoto momentu vlivem ztrát v ozubených převodech, řetězových převodech a pneumatice (valivý odpor). Valivý odpor se zvedá se zvyšujícím se zatížením a zmenšujícím se huštěním. Motocykl musí být adekvátně dotížen, aby nedocházelo jak k prokluzu pneumatiky, tak ke zbytečně vysokým ztrátám. Měření ztrát je možno tyto kroky eliminovat.

Software zkušebny zná moment setrvačnosti a dobu samovolného dotáčení samotného válce až do zastavení. Působením dalších ztrát dochází k většímu zpomalení válce, a tím i kratší doby do jeho zastavení. Snímáním změny negativního zrychlení otáček lze dopočítat brzdny moment obdobně jako při měření dynamického výkonu. Roztočení válce a vozidla je možno přímo motorem vozidla s následným vyřazením (vymáčknutím spojky) nebo aktivním dynamometrem, který umožňuje nejen brzdit, ale i generovat točivý moment.

5.1.5 Měření převodového poměru

Při zkoušení vozidla se snímají jak otáčky motoru, tak otáčky válce. Poměrem těchto otáček lze vypočítat hodnotu celkového převodového poměru vozidla. Snímání otáček motoru lze provést několika způsoby, nejčastěji elektronicky ze vstřikovačů nebo zapalování. Průběh převodového poměru by měl být konstantní, pokud se zvyšuje, dochází k prokluzu pneumatiky nebo spojky, a k chybě ve výsledku.

5.1.6 Měření na válcích

Měření na válcích přináší možnost provedení zátěžových zkoušek na vozidle bez nutnosti vynětí motoru nebo jiné speciální přípravy. Měří se zejména výkon na kolech vozidla, ale některé zkušebny umožňují přepočítání hodnoty výkonu, který je přímo na motoru. Existují monoválcové nebo dvouválcové zkušebny, jednoválcové jsou výhodnější, jelikož blíže simulují vozovku a mají větší styčnou plochu s pneumatikou, zatímco dvouválcové jsou levnější, dochází zde k větší deformaci pneumatiky, resp. vyššímu působení valivého odporu, a tím k většímu zkreslení výsledků.

Setrvačnickový stav je jednoduché mechanické zařízení složené ze styčného válce, setrvačnicku uložených na společné hřídeli. Princip měření je prostý, snímá se zde zrychlení celého rotujícího mechanismu pomocí snímače otáček a zároveň otáček klikové hřídele motoru. Vzhledem ke známému momentu setrvačnosti tohoto

mechanismu je možno dopočítat výkon motoru. Toto zařízení umožňuje měřit jen dynamickou metodou.

V hydrodynamickém (pneumatickém) dynamometru se dodávaná energie mění v teplo, resp. v ohřátí kapaliny vlivem vnitřního tření. Tato kapalina slouží jako činné i chladící médium. Čím větší je naplnění vířivých komor (lopatek) dynamometru, tím je generován větší brzdný moment. Elektrický dynamometr pracuje na principu elektromagnetické indukce a vířivých proudů. Brzdný účinek se reguluje změnou napětí a proudu v budící cívce. Energie přivedená od motoru se přeměňuje v rotorech v teplo, proto jsou tyto dynamometry chlazeny vzduchem nebo vodou.

5.1.7 Měření na klikové hřídeli

Měřením na klikové hřídeli zjišťujeme přesný efektivní výkon motoru, jelikož zde odpadají ztráty způsobené ve zbylém hnacím ústrojí vozidla, což jsou: spojka, převody, ložiska, valivý odpor pneumatik apod. Lze zde nasimulovat a lépe udržet klimatické podmínky a povahu provozu. Tento způsob sebou bohužel nese řadu nevýhod, což je vyjetí motoru z vozidla, velmi složité přípravy pro upevnění motoru k měřicí stoličce, instalaci motorového příslušenství (chlazení oleje, vody a nasávaného vzduchu, dodávka paliva, odvod spalin), a jiné.

5.2 Specifikace zkoušeného vozidla

Pro experiment byl zvolen silniční motocykl **Yamaha YZF-R6** roku výroby 2010, který je přestavěný pro závodní účely, zejména pro jízdu na okruhu. Jedná se o rychlý, lehký, výkonný a na okruzích často využívaný, supersportovní motocykl japonské výroby, který disponuje moderními technickými prvky regulace jeho vysokootáčkového motoru s krátkým zdvihem pístů. Konkrétně je tento motocykl vybaven řadou závodního příslušenství, včetně zmíněné programovatelné řídicí jednotky motoru, a celkově je vhodný pro realizaci experimentu.

5.2.1 Parametry motocyklu

- **Motor**
 - kapalinou chlazený, 4-taktní, DOHC, řadový čtyřválec s náklonem dopředu, 16-ti ventilový rozvod motoru,

- zdvihový objem 599 cm³,
- vrtání x zdvih = 67,0 mm x 42,5 mm,
- kompresní poměr = 1 : 13,1,
- udávaný maximální výkon 91 kW při 14500 min⁻¹,
- udávaný točivý moment 65,7 Nm při 10500 min⁻¹,
- mazání trochoidním olejovým čerpadlem,
- mokrá vícelamelová spojka s funkcí antihopping,
- elektronické vstřikování paliva (4 + 4 vstřikovače),
- elektronické zapalování,
- převodovka se stálým záběrem a 6-ti převodovými stupni,
- variabilní délka sacích hrdel YCC-i,
- elektronické ovládaní "ride-by-wire" YCC-t.

- **Podvozek**

- tlakově odlitý hliníkový rám "Deltabox",
- přední vidlice typu USD (Up-side-down) - zdvih 115 mm, ø 41 mm, úhel sklonu 24 °,
- zadní odpružení typu "monoshock" s kyvnou vidlicí a zdvihem 120mm,
- rozměr přední pneumatika 120/70 R17, zadní 180/55 R17,
- přední brzdový systém s radiální pumpou a dvěma kotouči (ø 310 mm) se čtyřpístkovými pevnými třmeny; zadní brzdový kotouč (ø 220 mm).

- **Rozměry**

- délka = 2040 mm,
- šířka = 705 mm,
- výška = 1095 mm,
- rozvor = 1375mm,
- hmotnost včetně náplní = 189 kg (Yamaha, 2009).

5.2.2 Příslušenství (úpravy motocyklu)

- otevřený sportovní titanový výfukový systém LeoVince s absorpčním tlumičem,
- vzduchový filtr BMC,
- sportovní kabelový svazek s laditelnou řídicí jednotkou YEC ,
- snímač rychlořazení Dynojet,
- sportovní chladič vody Febur,
- změna koncového převodu,
- display a měřič času kol AIM MXL Strada se snímači zdvihu podvozku, lambda controllerem Innovate Motorsports LCU-1 a širokopásmovou lambda sondou Bosch,
- laminátové kapoty Motoforza,
- tlumič řízení Harness.

5.2.3 Provozní náplně zkoušeného vozidla

- **palivo** - bezolovnatý automobilový benzin Verva 100, oktanové číslo 100
- **olejová náplň** - Motul 300V 10W-40, syntetický, norma API SN
- **chladičí náplň** - destilovaná voda



Obrázek 24 - Zkoušený motocykl Yamaha R6 (foto autor)

5.3 Specifikace zkušebny

Měření motocyklu proběhlo na zkušebně s válcovým dynamometrem na Integrované střední škole automobilní v Brně. Tato zkušebna je vybavena válcovým elektrickým dynamometrem umožňující jak dynamickou, tak statickou zkoušku vozidla, dále analyzátozem emisí, ventilátorem pro chlazení motoru a ventilátorem pro odvod spalin mimo zkušebnu.

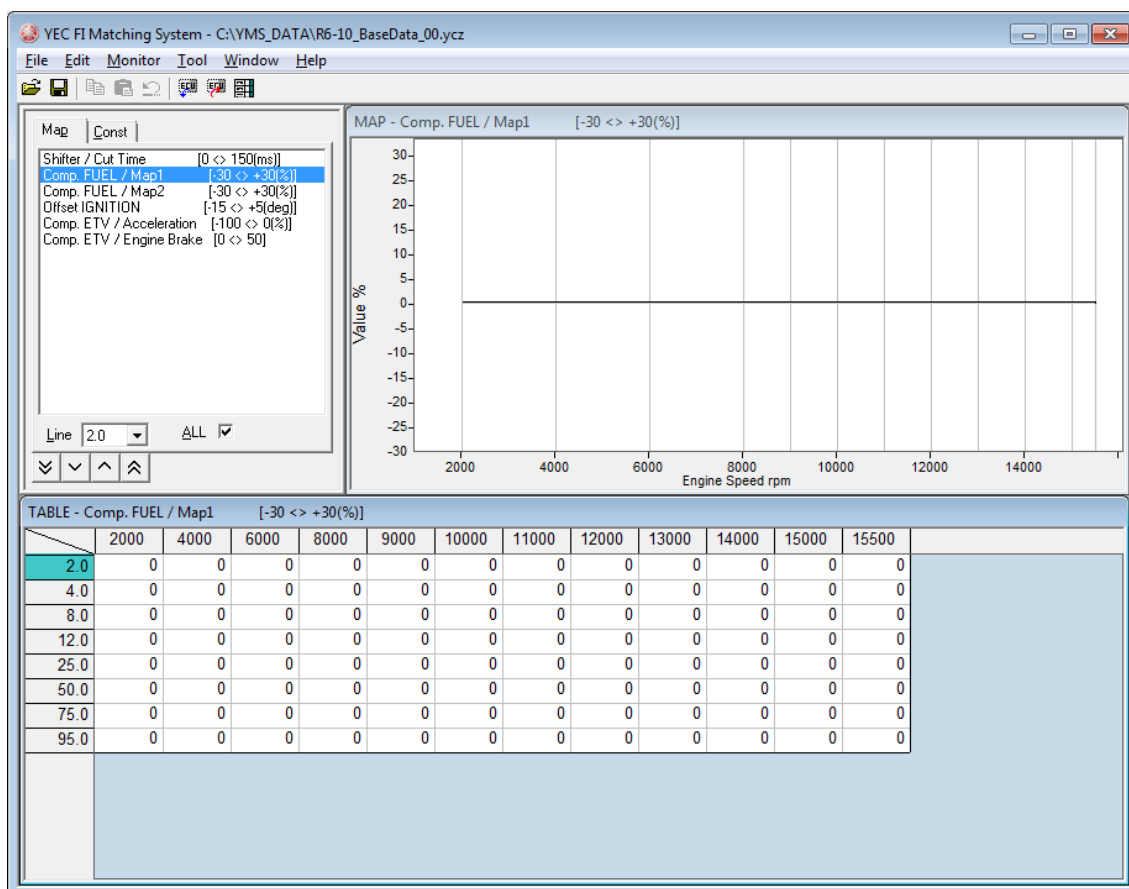
Válcový dynamometr české výroby Jaroš s počítačovým řízením pomocí programu Motocomtest. Jedná se o elektrický vířivý dynamometr umožňující dynamické i statické měření a měření pasivních ztrát hnacího ústrojí. Software Motocomtest řídí dynamometr, zaznamenává měření s až 8-mi analogovými kanály a vykresluje naměřené charakteristiky a výsledky. Brzdny výkon až 150kW, maximální rychlost válce $v_{\max} = 300 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Maximální zatížení 300 kg. Rychlost proudu větru chladicího, resp. náporového ventilátoru je cca $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.



Obrázek 25 - Měřící stanoviště v ISŠA Brno (foto autor)

5.4 Specifikace software pro změnu regulace

Motocykl je vybaven závodní řídicí jednotkou Yamaha YEC. Softwarem pro komunikaci s řídicí jednotkou, ve které se provádí změny, je YEC FI Matching System. Tento software je velice intuitivní a umožňuje nastavit funkce, které jsou potřebné pro závodní ježdění, oproti např. Ignijetu 2007, ve kterém je možno sice nastavit téměř všechny parametry, ale je tím pádem více náročnější. Níže bude popsáno několik základních polí a jejich funkce.



Obrázek 26 - Prostřední software YEC FI Matching System

Shifter / Cut Time je pole, kde se nastavuje doba quickshifteru, resp. doba přerušení zapalování motoru při řazení na vyšší rychlostní stupeň. Tato časová doba lze nastavit pro každý rychlostní stupeň zvlášť od 0 - 150 ms.

Comp. FUEL/Map1 - zde je možno doladit palivovou mapu v rastru, který je na obrázku výše. V oblasti nižších otáček je rastr hrubý, zatímco v oblasti vyšších je možno přesnějšího ladění vzhledem k otáčkám motoru - to je z důvodu povahy provozu sportovního motocyklu. To samé platí i pro rozmezí nastavení vzhledem k poloze škrtků

klapky. Změnu dávky paliva je možno vykonat v rozmezí -30 % až +30 % k pevně nastavené dávce v ECU. Je zde možno nastavení dvou palivových map, které lze jednoduše přepínat pomocí spínače na řídicích motocyklu.

Offset IGNITION je rastr, kde je možno změnit předstih zážehu spalovacího motoru v určitých oblastech otáček. Změna je v rozmezí od -15 do +5 stupňů klikové hřídele.

Comp ETV / Acceleration - tabulka ve stejném rastru jako v případě změny dávky paliva. Zde je možnost nastavení, resp. potlačení reakce na přidání plynu. Využití je např. při jízdě na povrchu s nižší adhezí. Rozsah je od -100 % až do 0 %, což se rovná původní nejcitlivější reakci.

Comp ETV / Engine brake je nastavení velikosti brzdění motoru. Při vhodných podmínkách je nutno, aby měl motor klidnější brzdny účinek. Redukce velikosti zpomalení motoru lze změnit jemným vstřikováním paliva, resp. elektronickým automatickým přidáním plynu.

Contents	VALUE	Unit
Comp. RAM Correction [-10 <> +10]	0	--
Comp. Fuel / All Area [-30 <> +30(%)]	0	%
Shifter / On Voltage [-5 <> 5(V)]	2.50	V
Rev. Limiter Offset [-1000 <> +0(rpm)]	0	rpm
Gear Ratio 1st [0.5<>3.05]	2.58	--
Gear Ratio 2nd [0.5<>3.05]	2	--
Gear Ratio 3rd [0.5<>3.05]	1.67	--
Gear Ratio 4th [0.5<>3.05]	1.44	--
Gear Ratio 5th [0.5<>3.05]	1.29	--
Gear Ratio 6th [0.5<>3.05]	1.15	--
Number of teeth (6th / Wheel) [10<>50]	23	--
VI(VARIABLE INTAKE) [5000 <> 17000(rpm)]	12700	rpm
PitRoad Limiter [2000 <> 17000(rpm)]	17000	rpm
Comp.IDL [-1 <> 2]	0.00	--

Obrázek 27 - Tabulka konstant v YMS

Comp. RAM Correction je nastavení konstanty pro vliv působení náporového větru.

Shifter / On Voltage je práh napětí (threshold), při kterém bude iniciována funkce rychlořazení. Rozmezí nastavení je od -5 do +5 V.

Rev. Limiter Offset - zde je možno posunout omezovač otáček níže - až o 1000 min^{-1} , než je původní omezení.

Gear Ratio x - pro bezchybnou funkci řídicí jednotky je nutno nastavit přesné převodové poměry jednotlivých převodových stupňů. Z otáček klikové hřídele a otáček impulzního kola pro snímání rychlosti zadního kola je vypočteno, který převodový stupeň je zařazen.

VI (VARIABLE INTAKE) je prahová hodnota otáček pro skokovou změnu délky sacího potrubí. V případě nižších otáček než je zadaná hodnota, je délka sacího potrubí delší, po překročení zadané hodnoty dojde ke zkrácení. Tuto funkci lze nastavit od 5000 do 17000 min^{-1} .

Pit Road Limiter slouží pro nastavení omezení rychlosti při průjezdu boxovou uličkou. Při této funkci je většinou počítáno s prvním zařazeným rychlostním stupněm, kterému se určí prahová hodnota otáček od 2000 do 17000 min^{-1} . Omezovač se aktivuje spínačem na řídicích.

Comp.IDL - slouží pro zvýšení nebo snížení, resp. korekci volnoběžných otáček motoru.

5.5 Podmínky měření

Samotné měření probíhalo za těchto podmínek:

- barometrický tlak 99 kPa ,
- relativní vlhkost vzduchu 56% ,
- teplota okolního vzduchu $19,8 \text{ }^\circ\text{C}$,
- teplota motoru $70 \text{ }^\circ\text{C}$,
- huštění pneumatiky 190 kPa ,
- palivo automobilový benzin Benzina Verva 100,
- dynamometr Jaroš s řízením Motocom,

- řídicí jednotka Yamaha YEC,
- náporové sání $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

5.6 Metodika měření

Zkušební technik bude měřit výkon motoru dynamickou zkouškou a bude se zjišťovat vnější otáčková charakteristika motoru, resp. výkon při plně otevřené škrticí klapce. První set dynamických zkoušek bude pouze vstupní a bez náporu větru. Jelikož je motocykly provozován při vyšších rychlostech, bude při dalším měření využito chladícího ventilátoru jako náporu větru. Další sada dynamických zkoušek bude za současného nastavení řídicí jednotky.

Pro zvolení oblasti pro aktivaci systému variabilní délky budou odjety dynamické zkoušky s tímto systémem pevně vypnutým a pevně zapnutým. Porovnáním těchto grafů a nalezením jejich průsečíků vhodně zakomponujeme okamžik zkrácení sacího potrubí a provedeme další sérii dynamických zkoušek. Po uspokojivém výsledku porovnáme výkon motoru vzhledem k bohatosti směsi, provedeme korekci palivové mapy a změříme diferenci.



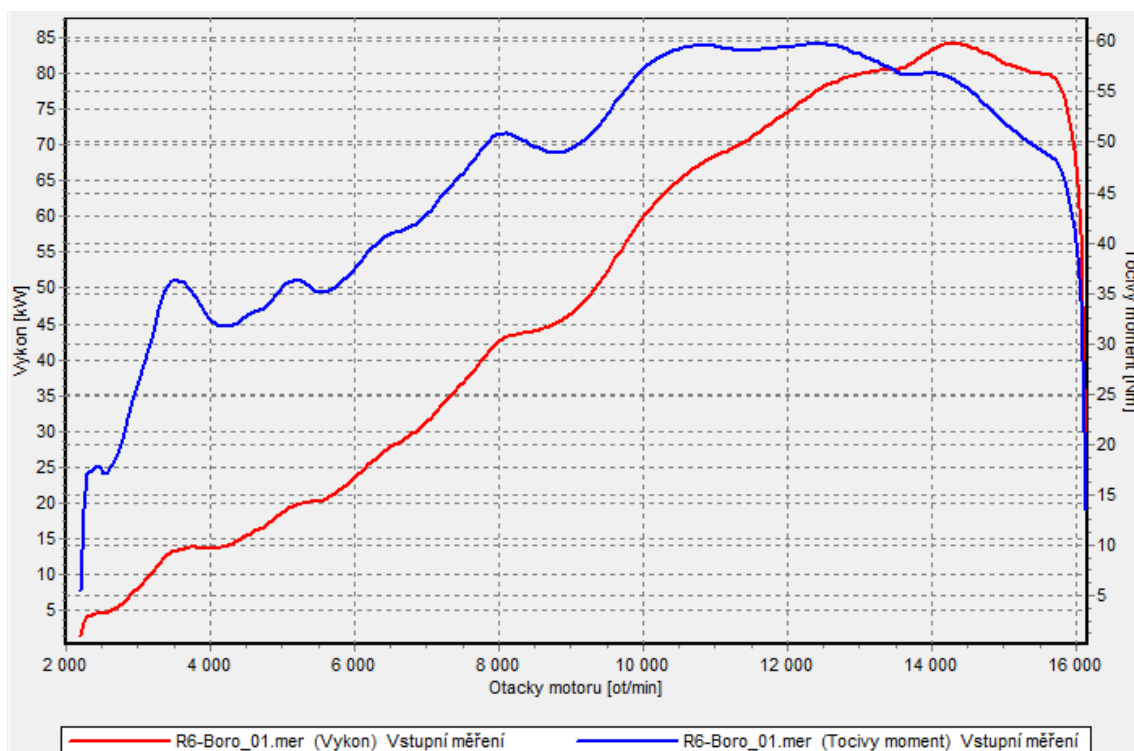
Obrázek 28 - Měření motocyklu na ISSA (foto autor)

6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A DISKUZE

6.1 Měření výkonu motocyklu

6.1.1 Vstupní měření bez náporu větru a s původním nastavením

Prvním měření bylo provedeno bez náporového sání za předešlého důkladného prohřátí motocyklu. Toto měření sloužilo pouze informačně a k porovnání s měřením s náporem větru. Pro tuto zkoušku bylo použito původní nastavení řídicí jednotky. Během tohoto měření byla provedena tzv. doběhová zkouška pro zjištění pasivních ztrát pohonného ústrojí. Do výsledku jsou tedy zakomponovány ztráty mezi spojkou motoru a válcem dynamometru. Nejvyšší výkon motocyklu dosáhl hodnoty **81,4 kW** při **14301 min⁻¹** a nejvyšší točivý moment **59,73 N.m** při **12458 min⁻¹**.

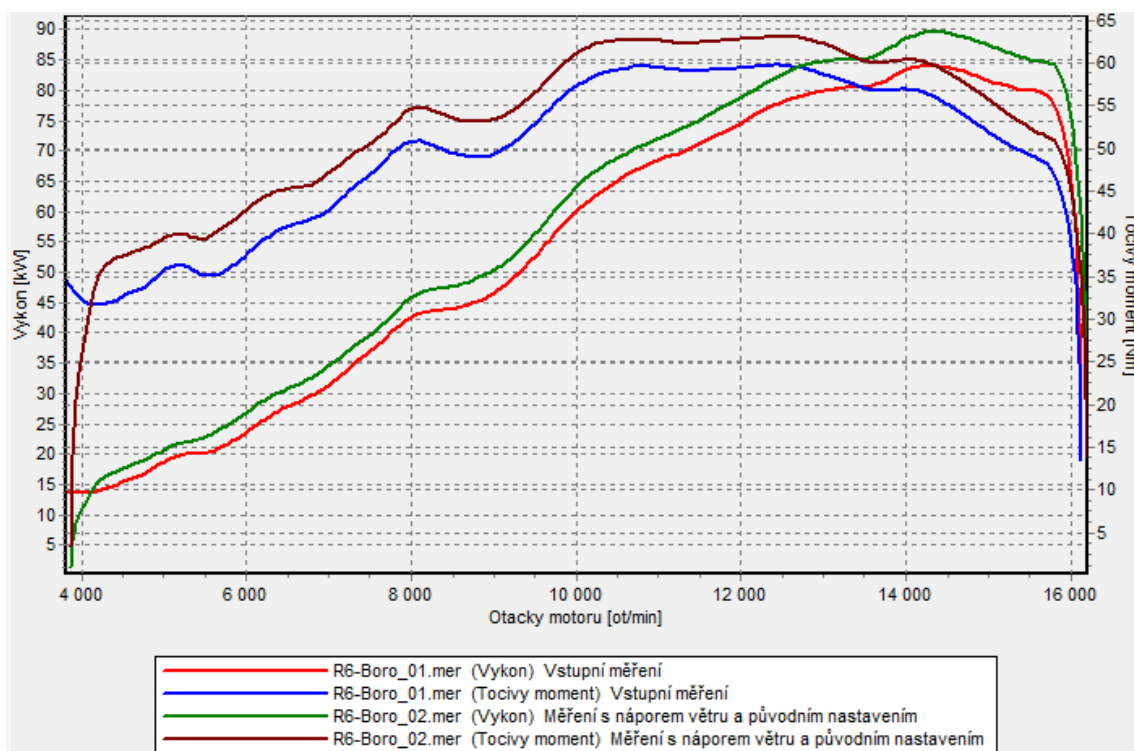


Obrázek 29 - Graf vstupního měření

6.1.2 Měření s původním nastavením

Další měření proběhlo při zapnutém chladicím ventilátoru, tento ventilátor generuje proud vzduchu, který má vliv na plnění motocyklu. Každé měření bude probíhat s náporem větru, protože motocykl je provozován zejména ve vyšších rychlostech. Jelikož ventilátor drží konstantní otáčky, je plnění vlivem náporu ve všech oblastech

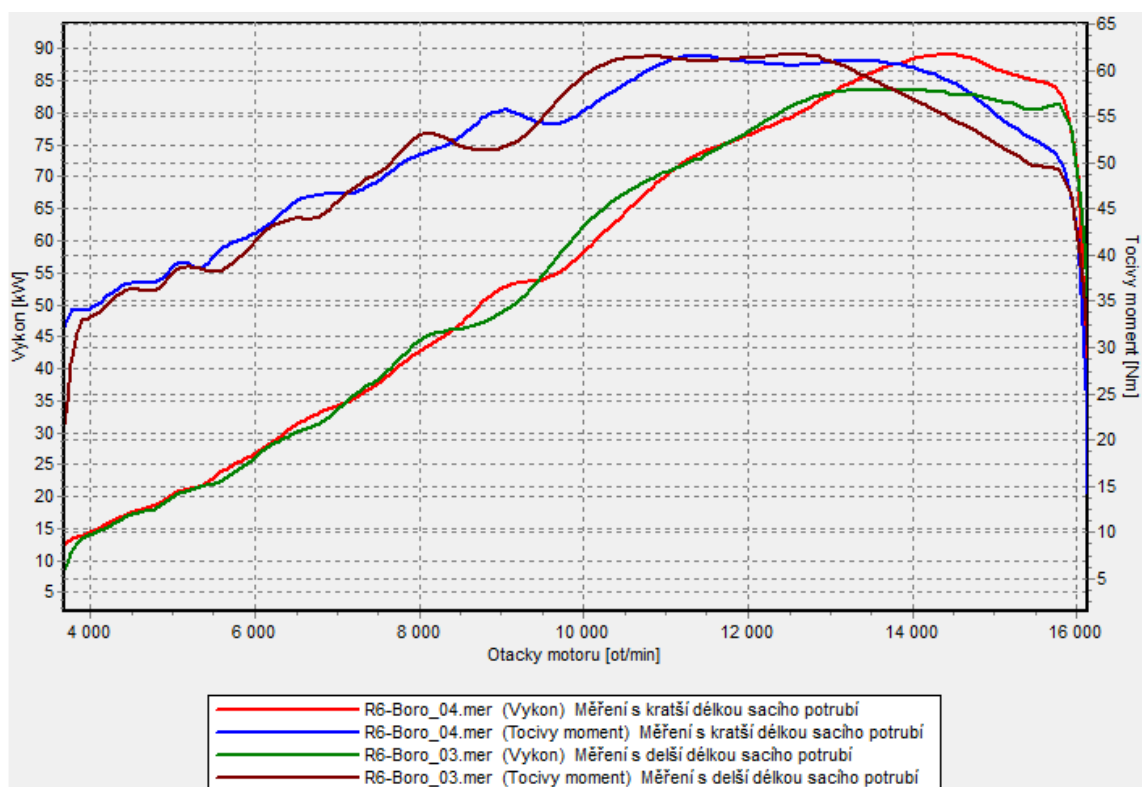
otáček téměř stejný, kdežto u reálného provozu by docházelo ke zvyšování výkonu se zvyšující se rychlostí motocyklu. Nicméně z výsledného grafu je patrné, že nápor vzduchu způsobuje rozdíl až **5,6 kW** a **3,4 N.m** v téměř celém spektru otáček. Výkon motoru tedy vzrostl na **89,7 kW** při **14301 min⁻¹** a točivý moment na **63,12 N.m** při **12547 min⁻¹**. Tento graf bude složit pro celé měření a ladění jako referenční.



Obrázek 30 - Graf porovnání charakteristik při náporu větru a bez

6.1.3 Měření s permanentně vypnutým a zapnutým systémem YCC-i

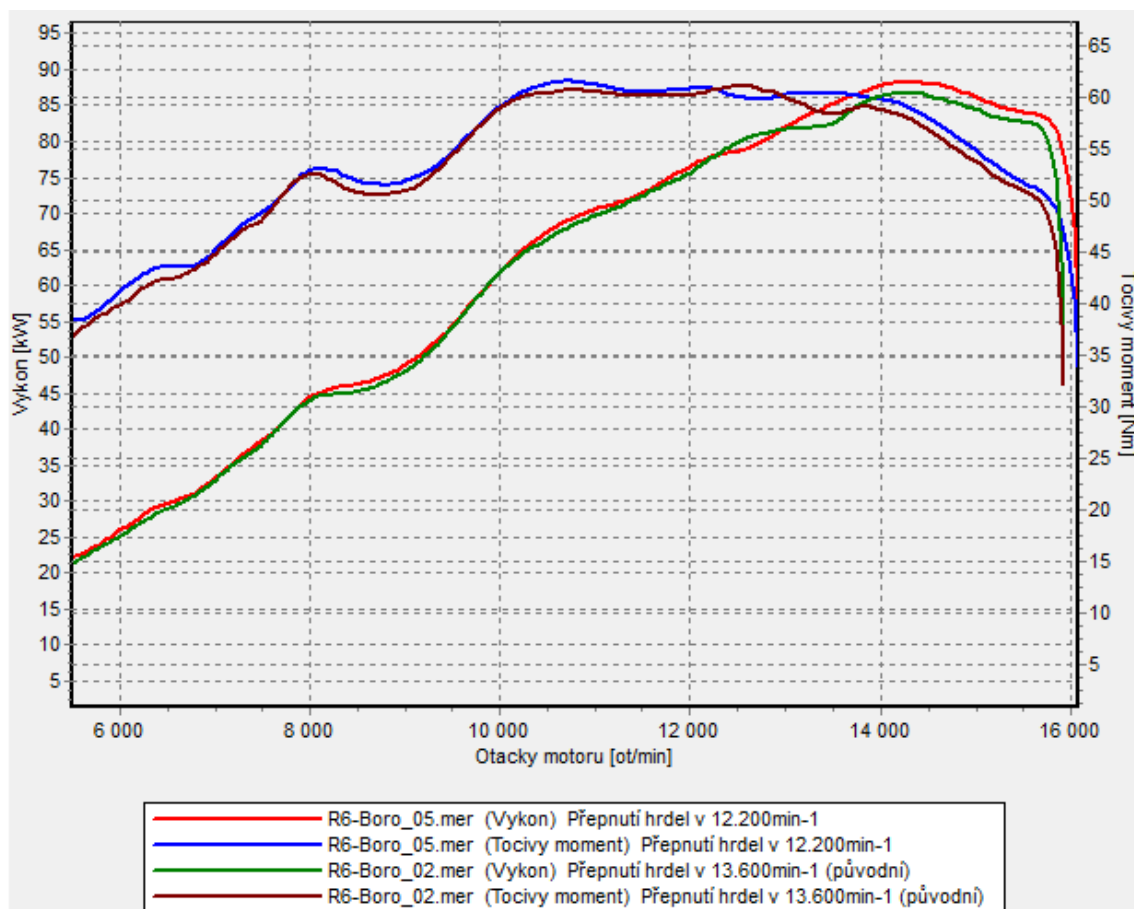
Jako první krok bylo třeba zjistit, kam umístit skokové zkrácení délky sacího potrubí - u tohoto motocyklu systém YCC-i (Yamaha Chip Controlled intake). Jako jednoduché a rychlé vyhledání oblasti otáček, kam umístit aktivaci systému byl zvolen způsob odjetí dynamické zkoušky s permanentně vypnutým a permanentně zapnutým systémem. Vyhledáním průsečíků výkonových křivek bude určeno, kde se aktivace YCC-i naprogramuje. Sepnutí systému bylo v software řídicí jednotky nastaveno na nejvyšších 17000 min⁻¹ a poté na nejnižších 5000 min⁻¹.



Obrázek 31 - Porovnání výkonu s různou délkou sacího potrubí

Po sérii těchto měření je patrné, co způsobí různá délka sacího potrubí s průběhem točivého momentu, respektive výkonu motoru. Zde je také potvrzena teorie, která říká, že pro nízké otáčky je vhodné dlouhé sací potrubí, zatímco pro vysoké otáčky krátké. **Aktivace systému YCC-i byla tedy po konzultaci posunuta z původních 13600 min^{-1} na 12200 min^{-1} .**

6.1.4 Měření s vhodně nastaveným systémem YCC-i

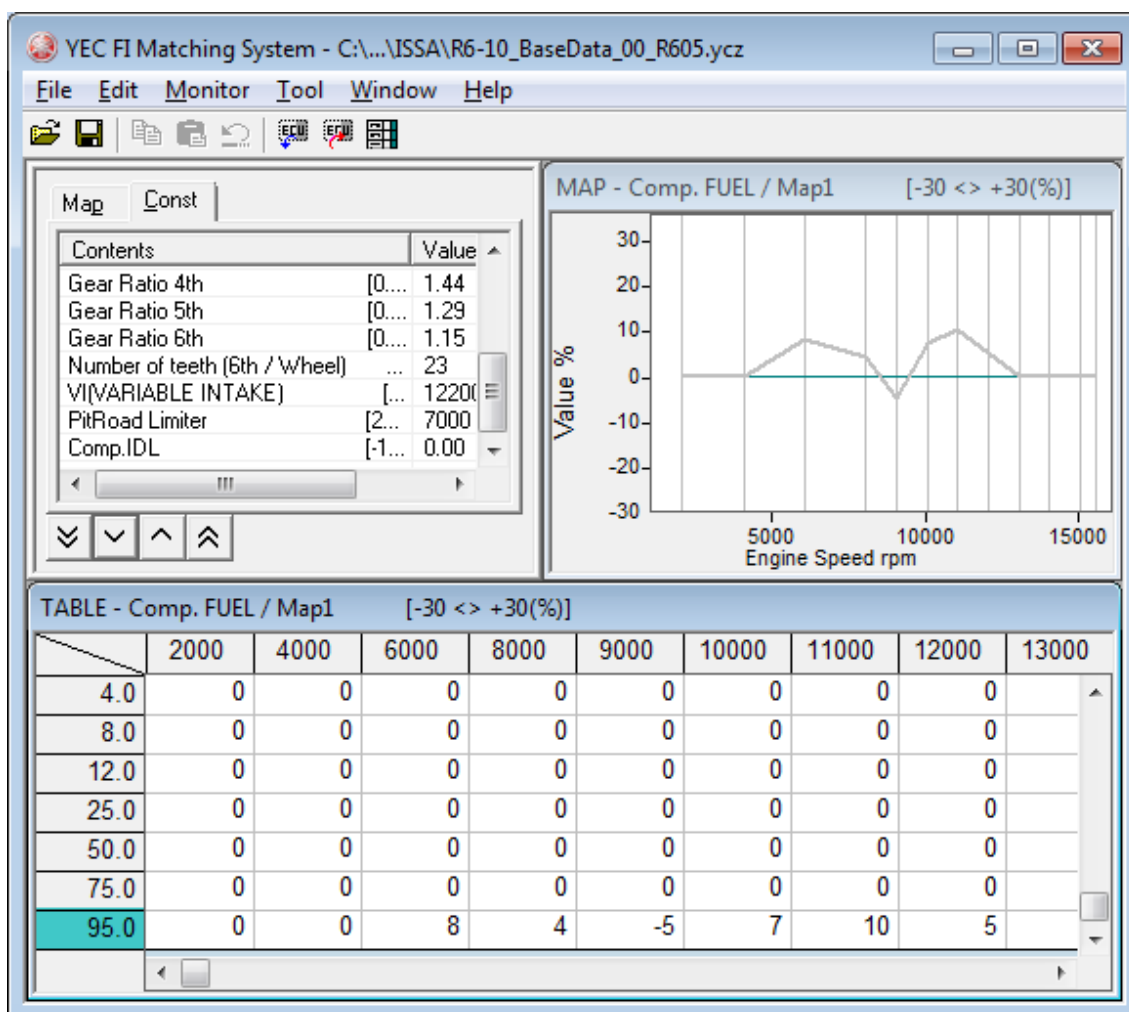


Obrázek 32 - Porovnání nově a původně nastaveného sepnutí systému YCC-i

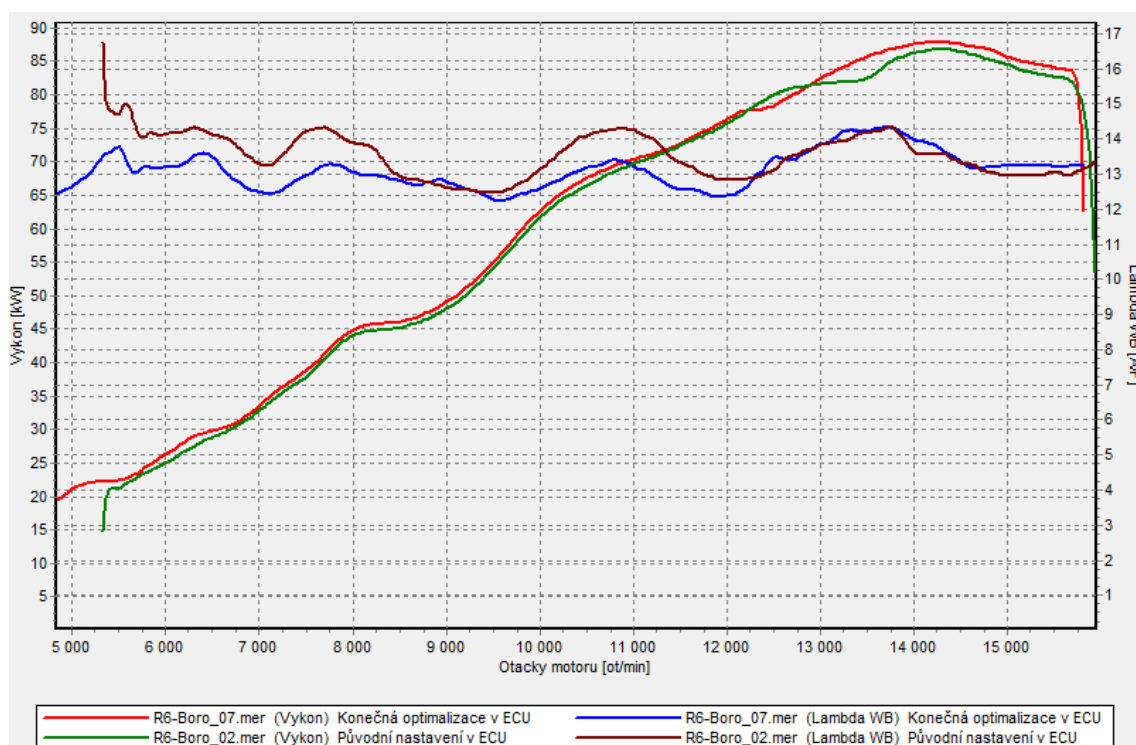
Přenastavení okamžiku zkrácení délky sacího potrubí způsobilo nepatrný výkonový propad až 1,6 kW v otáčkách od 12300 - 12900min⁻¹. Tento úpadek výkonu je zanedbatelný vzhledem ke zlepšení výkonu v široké oblasti vysokých otáček. Podařilo se zvýšit výkon o cca **1,5 kW** v otáčkách od **13000 min⁻¹ až do omezovače**.

6.1.5 Měření s úpravou paliva

Palivová mapa byla upravena jen pro plně otevřenou škrticí klapku, jelikož je motocykl provozován obzvláště v tomto režimu. Diagnostikováním závislosti součinitele přebytku vzduchu na výkonu a otáčkách bylo změněno několik bodů v tabulce korekce dávky paliva.



Obrázek 33 - Úprava dávky paliva v řídicí jednotce motoru



Obrázek 34 - Porovnání původní a konečné charakteristiky motoru

Korekce dávky paliva se téměř neprojevila na výkonu motocyklu. To může být způsobeno tím, že závodní řídicí jednotka od Yamahy je továrně nastavena už tak přesně, že taková změna nemá vliv na výkon. Co se ale podařilo zlepšit, je průběh palivového poměru, resp. součinitele lambda. Oblasti, které se vyznačovaly velmi odlišným průběhem součinitele lambda, byly ochuzeny nebo obohaceny, aby se průběh součinitele lambda razantně nerozkolísal a pohyboval se v rozmezí $\lambda = 0,85 - 0,95$.

6.2 Nastavení periferních funkcí

6.2.1 Nastavení rychlostního limitu

Jak již bylo psáno v teoretické části, je průjezd v boxové uličce omezen rychlostním limitem na $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Jelikož tato závodní jednotka umožňuje po sepnutí spínače na řídítku aktivaci tohoto "pit-speed limiteru", je třeba tuto rychlost nastavit. Je zde počítáno, že jezdec pojede na nejnižší rychlostní stupeň a pro ten bude nastavena maximální hodnota otáček. Jelikož motocykl má snímač rychlosti implementován v převodové skříně, nemůže být brán jako důvěryhodný signál z důvodu časté změny převodového poměru mezi výstupní hřídelí a rozetou zadního kola.

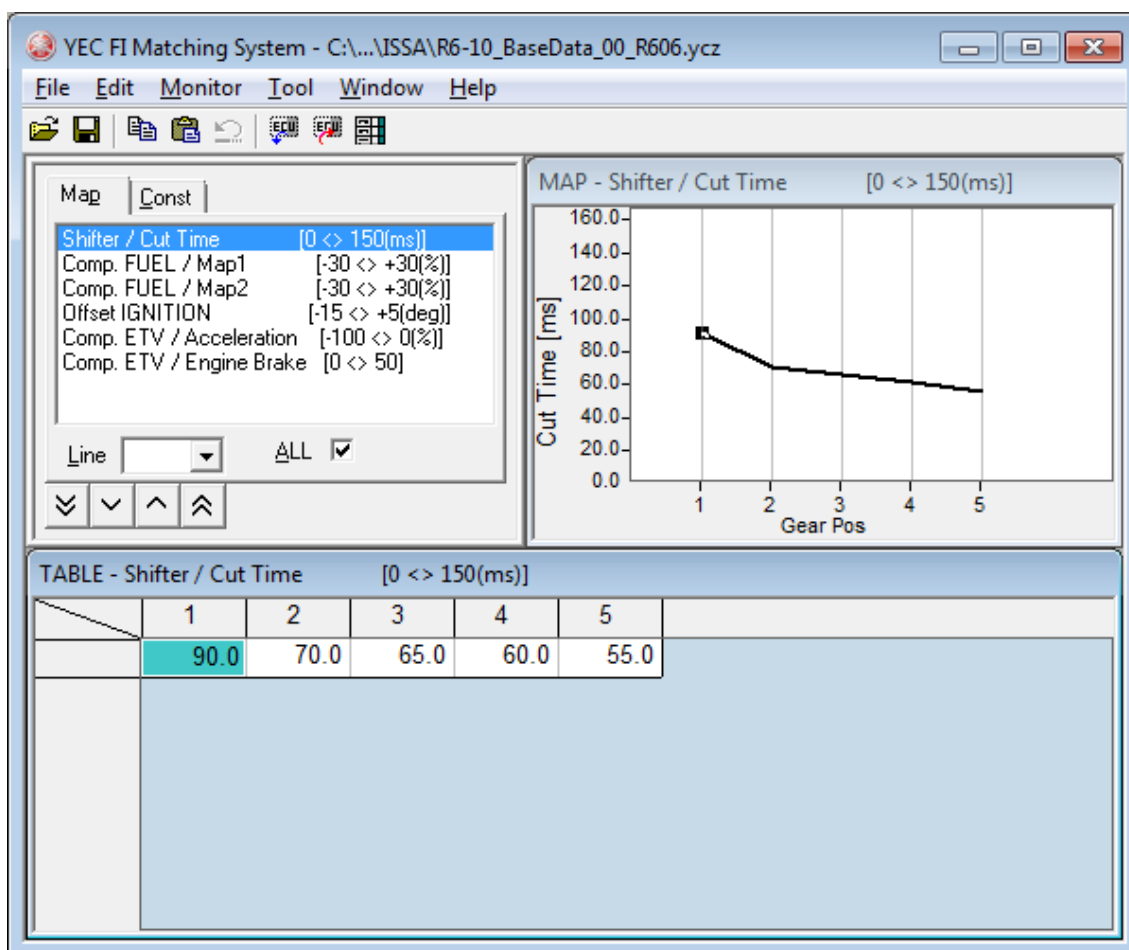
Zkušební technik udržoval konstantní rychlost dynamometru na požadovaných 60 km.h^{-1} při zařazeném 1. rychlostním stupni, a během toho odečítal přibližnou hodnotu otáček motoru. Hodnota otáček byla nepatrně snížena na 7000 min^{-1} , aby při lehké změně koncového převodu nevzrostla rychlost přes povolených 60 km.h^{-1} .

6.2.2 Korekce volnoběhu

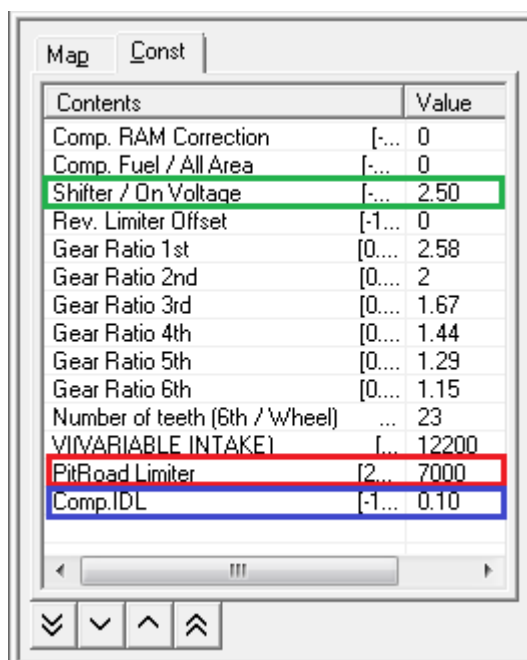
Během provozu a měření motocyklu se neustále vyskytoval problém, kdy motor nedokázal udržet volnoběžné otáčky, a poté se zastavil. Korekcí volnoběžných otáček v řídicí jednotce motoru tento problém vymizel, jelikož byly volnoběžné otáčky posunuté nepatrně výše. Původní problematické volnoběžné otáčky dosahovaly hodnot okolo 1700 min^{-1} , změnou korekčního koeficientu volnoběhu došlo ke zvednutí otáček na cca 1900 min^{-1} .

6.2.3 Nastavení rychlořazení

Jelikož na motoru není provedena změna převodových stupňů, resp. jejich převodových poměrů, bylo ponecháno tovární nastavení vypínací doby pro jednotlivé rychlostní stupně. Tato doba by měla odpovídat vyrovnáním otáček pro sériové převodové poměry. Bylo nutno nastavit jen napěťový threshold (práh) snímače řadicí páky, která iniciuje odlehčení motoru.



Obrázek 35 - Nastavení času vypnutí zapalování pro jednotlivé rychlostní stupně



Obrázek 36 - Nastavení napětového práhu sepnutí rychlořazení (zeleně), otáček rychlostního omezovače (červeně), korekce volnoběžných otáček (modře)

7 ZÁVĚR

Diplomovou práci na téma „**Optimalizace datových polí regulačního systému spalovacího motoru s nízkým momentem setrvačnosti**“ předkládám čtenáři jako ucelený soubor poznatků z oblasti regulace spalovacích motorů, a to v konkrétní podobě – motocyklových, které se vyznačují velmi nízkým momentem setrvačnosti. Motivem výběru tématu, jak již bylo zmíněno výše, je profesní zájem mne jako autora, který se snoubil i s volnočasovou aktivitou. Ač se domnívám, že pro dominantní skupinu vývojářů v průmyslovém odvětví výroby vozidel, je segment motocyklů marginální, entusiasmus vývojářů motocyklů značně zastíní i jistou „ne-atraktivitu“ v očích ekonomů. Avšak toto tvrzení je pouze subjektivní, tedy lépe následovat v této kapitole objektivní závěry na základě experimentem zjištěných výsledků a jejich analýz.

Z rešeršní části, a experimentální část to potvrzuje, je patrné, že vzhledem k nízkému momentu setrvačnosti se projevují částečně vlečené regulační smyčky tak, že nelze dosáhnout optimálního stavu regulátoru tak, jak u kvazistatického zatěžování motoru ostatních kategorií vozidel. Komparace výsledků výstupních parametrů motoru je dále komplikovanější z důvodu odlišného konstrukčního přístupu, kdy jsou brány v potaz fyzikální jevy, které jsou u zkoušení automobilových motorů záměrně eliminovány. Jedná se například o dynamické, resp. tlakové účinky proudu vzduchu působící na sání motoru. Všechny normativy pro zkoušení motoru nepřipouští dynamické plnění motoru, avšak regulační smyčky motocyklu tento aspekt zahrnují a dle proměnných upravují například i délku sacího potrubí. Z tohoto důvodu jsem do experimentu zařadil i zkoušky, které se soustředily na změny průběhu točivého momentu motoru a výkonu při změně délky sání. Bohužel jen v režimu, který není zcela ekvivalentní potřebnému průběhu rychlosti, neboť mi není známo, že v ČR existoval dynamometr pro motocykly, který by disponoval ventilátorem s výstupní rychlostí vzdušniny totožné s obvodovou rychlostí válce. Tedy výsledky měření na jednotlivé rychlostní stupně by nedávaly totožné průběhy. Má práce však spočívala v optimalizaci tak, aby byly výsledky vždy komparovány při stejném nastavení zkušebního zařízení. Výsledky jsou blíže komentovány v kapitole diskuse, ale obecně lze říci, že se mi podařilo nastavení dané výrobcem optimalizovat a zvýšit maximální hodnotu výkonu o 1,5 kW. V kontextu obvyklých proklamací společností, které nabízejí úpravy řídicích jednotek, se může zdát, že se jedná o nepatrné zvýšení, ale je třeba respektovat, že se

jedná o spalovací motor s přirozeným (atmosférickým) sáním, a tak jak je patrné z grafu průběhu součinitele λ , další obohacování směsi již nepřináší významný růst středního efektivního tlaku, resp. točivého momentu a jediným projevem by byl růst emisí CO a HC. Zajímavé výsledky spatřuji také v možnosti exaktního nastavení rychlostní limitace a systému rychlořazení, které se nelze realizovat jinak než s podporou válcového dynamometru. Závěrem musím pozitivně kvitovat softwarové možnosti přístupu k parametrům datových polí řídicí jednotky, které je řešeno nejen intuitivně, ale také umožňuje programování funkcí určených přímo pro motocykly, byť tyto úpravy nejsou prozatím přenášeny mezi PC a ECU protokolem XCP, ale je stále využívána sběrnice RS-232. Avšak i u jiných systémů řízení motoru (automobily, autobusy, traktory aj.) je tento inovativní způsob využívající sběrnici CAN prozatím výjimkou. Domnívám se, že etablování tohoto protokolu u motocyklů je otázkou několika následujících let.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ROLLINGER Miroslav, 2010: *Diagnostika motocyklů*. 1.vyd. Brno, Integrovaná střední škola automobilní, 419 s. ISBN 978-80-260-1671-7.

VLK, František, 2006: *Automobilová elektronika*. 1.vyd. Brno: František Vlk, 354 s. ISBN 80-239-7063-1.

ROLLINGER Miroslav, 2006: *Motocykly*. 1.vyd. Brno, Integrovaná střední škola automobilní, 283 s. ISBN 978-80-254-2726-2.

ŠTĚRBA Pavel, ČUPERA Jiří, 2010: *Autoelektronika*. 1.vyd. Brno, Computer Press, 280 s. ISBN 978-80-251-2414-7.

VLK František, 2004: *Elektronické systémy motorových vozidel I*. 1.vyd. Brno, František Vlk, 298 s. ISBN 80-238-7282-6.

VLK František, 2005: *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 2.vyd. Brno, František Vlk, 576 s. ISBN 80-239-3717-0.

YAMAHA Motor Co. Ltd., 2009: *YZFR6Y Service Manual*. 1.vyd. U.S.A., Yamaha Motor Corporation, 434 s.

9 SEZNAM INTERNETOVÝCH ODKAZŮ

URL: <http://www.scribd.com/doc/29560735/Vozidlove-motory-Prof-Ing-Stanislav-Beroun-CSc>.

URL: <http://www.gravesport.com/YEC-Yamaha-R6-Kit-Wiring-Harness-08-11.html>

URL: <http://programujte.com/clanek/2008102400-pocitacove-zpracovani-signalu-i-zakladni-uvod/>

URL: <https://www.boschautoparts.com/en/auto/temperature-sensors>

URL: <http://www.aim-store.com/en/Accessorys/Temperature/Exhaust-gas/Exhaust-gas-temperature-M5-thermocouple.html>

URL: <https://www.boschautoparts.com/en/auto/engine-position-sensors/knock-sensors>

URL: <https://www.ngk.de/cz/produkty-a-technologie/lambda-sondy/technologie-lambda-sondy-s-oxidem-zirkonocityym/>

URL: http://www.powercommander.com/powercommander/Images/Products/AutoTune/at_200_kit_lrg.jpg

URL: <http://www.enginebasics.com/EFI%20Tuning/AF%20Ratio%20Basics.html>

URL: <http://www.denso-am.eu/products/automotive-aftermarket/ignition/ignition-coils/>

URL: <http://www.gpone.com/en/2014050313446/Marquez-from-the-throttle-to-the-joystick.html>

URL: <http://global.yamaha-motor.com/news/2006/1010/yzf-r1.html>

URL: http://vector.com/portal/medien/cmc/info/FlashBootloader_ProductInformation_EN.pdf

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Schéma zážehového motoru koncepce $\lambda = 1$ a jeho kvantitativní regulace	13
Obrázek 2 - Schéma nepřepřlňovaného vznětového motoru a jeho kvalitativní regulace	15
Obrázek 3 - Schéma moderního přeplňovaného vznětového motoru a jeho smíšené regulace	16
Obrázek 4 - Základní komponenty závodní elektroniky YEC Yamaha R6	17
Obrázek 5 - Snímač polohy škrticích klapek Mikuni	19
Obrázek 6 - Hallův jev	20
Obrázek 7 - Membrána s měřicími elementy	22
Obrázek 8 - Snímač teploty chladicí kapaliny	22
Obrázek 9 - Snímač teploty výfukových plynů	23
Obrázek 10 - Snímač klepání motoru Bosch	24
Obrázek 11 - Lambda sonda NGK s oxidem zirkoničitým	26
Obrázek 12 - Sada modulátoru vstřikování Dynojet Power Commander V s jednotkou Autotune pro automatické naladění motocyklu a širokopásmovou lambda sondou Bosch LSU 4.2	27
Obrázek 13 - Porovnání napěťových charakteristik různých lambda sond	28
Obrázek 14 - Charakteristika MAF senzoru a pohled na jeho měřicí část	29
Obrázek 15 - Příklad architektury řídicí jednotky	31
Obrázek 16 - Základní palivová mapa pro motocykl Yamaha R6 2008 v řídicí jednotce Ignitech Ignijet 2007 a mapa procentuálního podílu vstřikované dávky sekundárním vstřikovačem	32
Obrázek 17 - Základní předstihová mapa pro motocykl Yamaha R6 2008 v řídicí jednotce Ignitech Ignijet 2007	33
Obrázek 18 - Podrobné nastavení funkce clutchmaster v řídicí jednotce Ignitech Ignijet2007	35
Obrázek 19 - Řez vstřikovacím ventilem	36
Obrázek 20 - Zapalovací cívka Denso - násuvná na svíčku	37
Obrázek 21 - Plynová rukojeť s integrovaným snímačem polohy	38
Obrázek 22 - Systém variabilní délky sacích hrdel YCC-i	39
Obrázek 23 - Způsoby a druhy měření výkonu motoru	42
Obrázek 24 - Zkoušený motocykl Yamaha R6	47

Obrázek 25 - Měřicí stanoviště v ISSA Brno	48
Obrázek 26 - Prostřední software YEC FI Matching System.....	49
Obrázek 27 - Tabulka konstant v YMS	50
Obrázek 28 - Měření motocyklu na ISSA	52
Obrázek 29 - Graf vstupního měření	53
Obrázek 30 - Graf porovnání charakteristik při náporu větru a bez	54
Obrázek 31 - Porovnání výkonu s různou délkou sacího potrubí.....	55
Obrázek 32 - Porovnání nově a původně nastaveného sepnutí systému YCC-i.....	56
Obrázek 33 - Úprava dávky paliva v řídicí jednotce motoru.....	57
Obrázek 34 - Porovnání původní a konečné charakteristiky motoru.....	58
Obrázek 35 - Nastavení času vypnutí zapalování pro jednotlivé rychlostní stupně	60
Obrázek 36 - Nastavení napět'ového práhu sepnutí rychlořazení, otáček rychlostního omezovače, korekce volnoběžných otáček	60