

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2009

Jan Dvořák

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

**Metoda měření výkonu a točivého momentu zážehového motoru s
využitím indukčního snímače otáček**

Jan Dvořák

Bakalářská práce

2009

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan DVORÁK**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Metoda měření výkonu a točivého momentu zážehového motoru s využitím indukčního snímače otáček**

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

1. Způsoby měření točivého momentu a výkonu zážehového motoru
2. Teorie měření s indukčním snímačem otáček
3. Zpracování vstupních hodnot a výpočet
4. Postup při praktickém měření na vozidle
5. Hodnocení metody z hlediska nejdůležitějších aspektů

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- <http://web.daves.cz/> -
<http://www.mereni-vykonu.cz/> - Diagnostika zážehových a vznětových motorů (Petr Janda a kolektiv) dostupné (<http://www.sosi.cz/texty/li-diagnostika-spalovacich-motoru.pdf>) - <http://www.chiptuningmoto.cz/>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ivo Šefčík, Ph.D.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **20. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2009**



prof. Ing. Bohumil Cuhák, CSc.
děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tisaf, 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 Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 25. května 2009

Jan Dvořák

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem lidem, kteří mi při tvorbě bakalářské práce pomohli, zvláště pak Ing. Ivo Šefčíkovi, Ph.D. za poskytnutí odborných konzultací a především vstřícnému přístupu.

V Pardubicích dne 25. května 2009

Jan Dvořák

SOUHRN

Práce se zabývá problematikou měření výkonů a točivých momentů spalovacích motorů. V první části je uveden stručný přehled dostupných metod měření. Další části práce jsou zaměřeny na jednu z alternativních metod měření. Je zde uveden kompletní teoretický rozbor, zpracování, výpočet a vyhodnocení metody měření s induktivním snímačem otáček.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měření, induktivní snímač, výkon, točivý moment, otáčky.

TITLE

Method of determining torque moment and performance petrol engine with improvement inductive engine speed indicator

ABSTRACT

Work is based on problem of measure performance and torque moment of engine. In the first part of work is introduce simple summary of measure method. Other parts of work are focused on alternative measure method. There is mention about complete theoretical analysis, processing, calculation and evaluation of measure method.

KEY WORDS

Measure, inductive engine speed indicator, performance, torque moment, engine speed.

Obsah

Úvod.....	8
1. Způsoby měření výkonu a točivého momentu zážehového motoru	9
1.1. Dynamické zkoušky	9
1.1.1. Rozbor dynamické zkoušky na válcové brzdě	9
1.1.2. Měření vnějších charakteristik vozidla	12
1.1.3. Simulace jízdy vozidla.....	13
1.2. Statické zkoušky.....	15
2. Teorie měření s induktivním snímačem otáček	17
2.1. Induktivní snímač	18
2.2. Měřicí zařízení	18
2.3. Záznamové zařízení.....	20
3. Zpracování vstupních hodnot a výpočet.....	22
3.1. Zpracování zvukového signálu	22
3.2. Výpočet průběhů výkonu a točivého momentu	25
4. Postup při praktickém měření na vozidle	28
4.1. Volba vhodného prostoru	28
4.2. Příprava vozidla	31
4.3. Instalace měřicího zařízení	31
4.4. Akcelerační zkouška.....	32
5. Hodnocení metody z hlediska nejdůležitějších aspektů.....	34
5.1. Rozsah použití.....	34
5.2. Chyby měření.....	34
5.3. Porovnání měřících metod	35
5.4. Uplatnění měřící metody	38
Závěr	39
Seznam použité literatury.....	40
Seznam obrázků.....	41
Seznam grafů	42
Seznam tabulek.....	43

Úvod

Cílem této bakalářské práce je poskytnout co nejvíce informací o jedné z alternativních metod měření výkonu a točivého momentu zážehového motoru. Metoda je založena na principu snímání impulsů v zapalovací soustavě hnacího agregátu. Jedná se o dynamický test, při kterém se diagnostikované vozidlo pohybuje po vozovce.

Problematika měření výkonů a točivých momentů je v dnešní době nejčastěji realizovaná jako dynamická zkouška na válcové zkušebně. Tato diagnostika slouží jako informace o stavu motoru měřeného vozidla. Může být pořizována za účelem porovnání s údaji poskytovanými výrobcem, popř. údaji z předchozího měření, např. po úpravě řídicí jednotky nebo dalších skupin, které mají vliv na výkon spalovacího motoru. Dále může vypovídat o amortizaci či aktuálním stavu motoru. Na druhé straně pro vývoj v automobilovém průmyslu je často výhodnější pro měření výkonu spalovacího motoru statická výkonová zkouška.

Práce je určena zejména pro aktivní motoristy a zájemce o automobilový průmysl, kteří při úpravách motorů potřebují průběžně testovat výkon upravovaného agregátu. Nejednou je zapotřebí danou úpravu odladit na konkrétní požadované podmínky. Může se jednat o zvyšování výkonů za účelem sprintů či jiných závodů, ale i optimalizaci chodu motoru na určitý druh paliva apod. Zejména nástup elektroniky do konstrukce silničních vozidel umožnil provádět změny v chodu spalovacího motoru, aniž by došlo k jinému než datovému zásahu do řídicí jednotky, popř. řídicích jednotek. Tyto změny probíhají v krátkém čase a použití mobilního měření výkonu motoru může být výhodné i přes nižší přesnost, než poskytuje válcová zkušebna.

V bakalářské práci je kompletně uveden rozbor alternativní měřicí metody. Algoritmus je zpracován obecně, aby mohl být aplikován na co nejvíce konstrukčních typů spalovacích motorů. Znalost algoritmu a postupu výpočtu však pro koncového uživatele měřicí metody není nutná. Uvažuje se pouze zadání vstupních parametrů charakterizující konkrétní diagnostikované vozidlo. Tyto konstanty jsou potřebné ke stanovení průběhu výkonu a točivého momentu, protože zátěž motoru při zkoušce tvoří síly působící proti pohybu vozidla.

1. Způsoby měření výkonu a točivého momentu zážehového motoru

Zkoušky uvedené v této kapitole platí obecně pro zážehové i vznětové motory, popř. elektromotory umístěné ve vozidle. Jsou založeny na principu měření brzdného momentu a jejich použití je obecnější než u alternativní metody měření s využitím induktivního snímače otáček.

1.1. Dynamické zkoušky

Při tomto druhu zkoušky není motor demontován z vozidla. Způsoby realizace mohou být u dané zkoušky odlišné. Měření probíhá za:

- konstantní tažné síly
- konstantních otáček
- popř. je možná i jízdní simulace (možnost stanovení jízdních odporů jízdní zkouškou na reálné trase, kterou je potom možné simulovat na válcové zkušební výkonu)

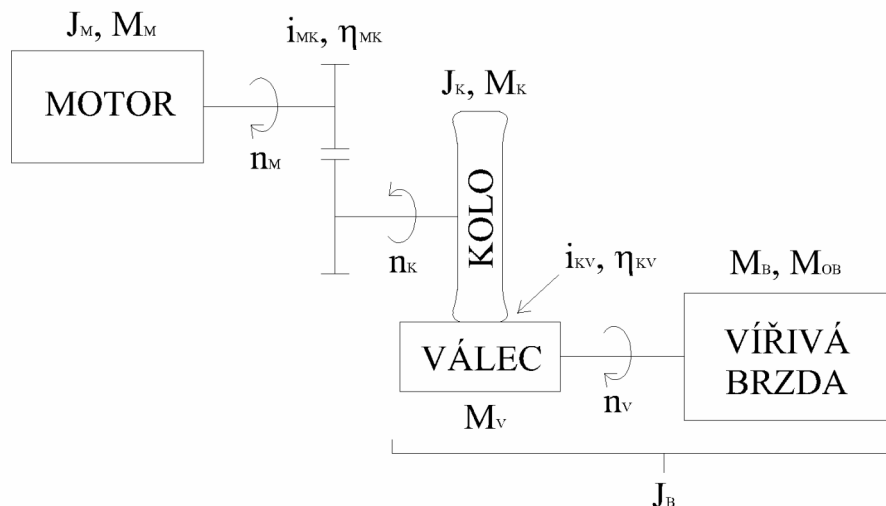
1.1.1. Rozbor dynamické zkoušky na válcové brzdě

Celý zkušební stav si můžeme rozložit do třech nejdůležitějších částí, které se navzájem ovlivňují.

Motor – kola – vířivá brzda s válcem.

Podrobněji pro výpočet lze soustavu rozložit na následující schéma. Není zde uvedena převodovka, protože momenty setrvačnosti převodového ústrojí jsou vzhledem k momentům setrvačnosti rotujících částí motoru a kola nepatrné, je možné je tedy zanedbat.

Při odvozování bylo vycházeno z následujícího detailnějšího obrázku:



Obr. 1 – soustava motor-kolo-vířivá brzda s válcem [10]

Pro moment motoru platí rovnice:

$$M_M = \frac{M_B + M_{OB} + [J_B + (J_M \cdot i_{MK}^2 \cdot \eta_{MK} + J_K) \cdot i_{KV}^2 \cdot \eta_{KV}] \cdot \frac{d\omega_V}{dt}}{i_{MV} \cdot \eta_{MK} \cdot \eta_{KV}} \quad (1)$$

po vynásobení celé rovnice jmenovatelem pak:

$$M_M \cdot i_{MV} \cdot \eta_{MK} \cdot \eta_{KV} = M_B + M_{OB} + [J_B + (J_M \cdot i_{MK}^2 \cdot \eta_{MK} + J_K) \cdot i_{KV}^2 \cdot \eta_{KV}] \cdot \frac{d\omega_V}{dt} \quad (2)$$

kde: M_M – moment motoru [Nm],

M_B – brzdny moment vířivé brzdy vyvozený proudem v jejím budícím vinutí [Nm],

M_{OB} – pasivní moment celého kompletu brzda-válec, je způsoben třením v ložiscích a odporem vzduchu rotujících částí zkušebního stavu [Nm] (pozn.: v programu je v tomto členu zahrnut pouze odpor samotné brzdy – jejího rotoru a ložisek, neobsahuje třecí odpor válce, ten je zanedbán),

J_B – moment setrvačnosti celého kompletu brzda-válec včetně hřídelí a spojky [kgm²],

J_M – moment setrvačnosti motoru [kgm²],

J_K – moment setrvačnosti kola [kgm²],

$\frac{d\omega_V}{dt}$ – úhlové zrychlení válce [rad/s²],

i_{MK} – převodový poměr mezi motorem (klikovou hřídelí) a kolem [1],

i_{KV} - převodový poměr mezi kolem a válcem [1], vypočte se jako podíl

$$\text{poloměru válce a dynamického poloměru kola: } i_{KV} = \frac{R_V}{R_K}, \quad (3)$$

i_{MV} - celkový převodový poměr mezi motorem a válcem [1], vypočte se

$$\text{vynásobením převodu motor-kolo a kolo-válec: } i_{MV} = i_{MK} \cdot i_{KV} \quad (4)$$

η_{MK} - mechanická účinnost převodového ústrojí na daném převodovém stupni,

η_{KV} - účinnost přenosu výkonu mezi válcem a kolem [1], tímto členem se zohledňuje ztráta výkonu mezi kolem a válcem, která je způsobena valivým odporem pneumatiky odvalující se po válci.

Člen $M_M \cdot i_{MV} \cdot \eta_{MK} \cdot \eta_{KV}$ na levé straně rovnice (2) představuje redukováný moment motoru na osu válce. Člen $(J_M \cdot i_{MK}^2 \cdot \eta_{MK} + J_K) \cdot i_{KV}^2 \cdot \eta_{KV}$ na pravé straně rovnice představuje redukováný moment setrvačnosti motoru a kola na osu válce.

Moment na válci - přepočítání momentu motoru na válec, což znamená pouhé vynásobení rovnice (1) členem $i_{MV} \cdot \eta_{MK} \cdot \eta_{KV}$:

$$M_V = M_B + M_{OB} + \left[J_B + (J_M \cdot i_{MK}^2 \cdot \eta_{MK} + J_K) \cdot i_{KV}^2 \cdot \eta_{KV} \right] \cdot \frac{d\omega_V}{dt} \quad (5)$$

Moment na kole – vychází z rovnice (1) a (5)

$$M_K = \frac{M_B + M_{OB} + \left[J_B + (J_M \cdot i_{MK}^2 \cdot \eta_{MK} + J_K) \cdot i_{KV}^2 \cdot \eta_{KV} \right] \cdot \frac{d\omega_V}{dt}}{i_{KV} \cdot \eta_{KV}} \quad (6)$$

V rovnicích vystupuje člen η_{KV} , který zohledňuje skutečnost, že vozidlo má na zkušebně svůj vlastní valivý odpor.

Obdobnou funkci má i člen η_{MK} , který zohledňuje odpory v přenosové cestě motor-kolo způsobené třením součástí ve vzájemném kontaktu, jako například tření spojky nebo záběr ozubených kol.

Ideálním stavem by bylo tyto odpory změřit přímo na zkušebně před zahájením vlastního měření. Po úpravách by tedy rovnice pro moment motoru mohla vypadat takto:

$$M_M \cdot i_{MV} = M_B + M_{OB} + \left[J_B + (J_M \cdot i_{MK}^2 + J_K) \cdot i_{KV}^2 \right] \cdot \frac{d\omega_V}{dt} + M_{FVOZ}, \quad (7)$$

Kde: M_{FVOZ} je ztrátový moment redukováný na osu válce. [10]



Obr. 2 – Válcová zkušebna [6]

1.1.2. Měření vnějších charakteristik vozidla

V tomto případě se používá režim zatěžování na konstantní otáčky. Při regulaci zůstává konstantní nastavená rychlost vozidla nebo otáčky motoru, bez ohledu na změny velikosti výkonu motoru přenášeného vozidlem způsobené změnou v nastavení regulačního orgánu příjmu paliva. Výstupem měření jsou vnější charakteristiky vozidla nebo motoru, tj. závislost točivého momentu a výkonu motoru na otáčkách.

Vlastní měření se provádí tím způsobem, že řádně upevněné vozidlo provede rozjezd do dolní hranice měřeného rozsahu za postupného řazení na rychlostní stupeň, na kterém bude prováděno měření. Po dosažení této meze je nastaven přívod paliva na maximum a zároveň začne brzda vozidlo brzdit na konstantní otáčky prvního bodu měřené charakteristiky. Tímto způsobem se postupně proměří celý rozsah otáček po určitých krocích. V jednotlivých bodech se změří několik hodnot momentu a prostým aritmetickým průměrem z těchto hodnot se vypočte moment motoru, jeho výkon, případně tažná síla či výkon na obvodu kol.

Před vlastním měřením je nutno znát maximální a minimální otáčky motoru a maximální rychlost vozidla, aby při měření nedošlo k překročení těchto mezí.

Na výkonové parametry motoru mají jistý vliv atmosférické podmínky, jako např. teplota vzduchu, barometrický tlak a vlhkost vzduchu. Aby bylo možno porovnávat výsledky zkoušek provedené za různých atmosférických podmínek, je nutné změřené výsledky přepočítat na tzv. standardní atmosférické podmínky.

Tato zkouška bývá někdy označována také jako statická. [10]

1.1.3. Simulace jízdy vozidla

U tohoto typu zkoušky se pomocí dynamometru simulují skutečné odpory vozidla při jízdě. Dynamometr reguluje brzdňý moment podle rovnice tak, aby bylo dosaženo požadované velikosti síly působící při jízdě na vozidlo. Jelikož je vozidlo na zkušebně v klidu a pohybující se části zkušebního stavu s určitým momentem setrvačnosti obecně neodpovídají hmotnosti příslušného vozidla, musí točivý moment brzdy vyrovnávat chybějící hmotnostní účinek během změny rychlosti.

Na obvodu poháněného kola musí tedy být v každém okamžiku vyvozovány stejné hnací síly jako na silnici, takže točivý moment brzdy musí být určitým způsobem regulován.

Při jízdě po silnici platí pohybová rovnice:

$$F_K = O_F + O_S + O_V + O_A \quad (8)$$

kde F_K - hnací síla na kole,

$$O_F = f_k m_{\text{VOZ}} g \cos \alpha \text{ je valivý odpor,} \quad (8.a)$$

kde f_k ... odpor valení

α ... úhel stoupání

$$O_S = m_{\text{VOZ}} g \sin \alpha \text{ je odpor ze stoupání,} \quad (8.b)$$

$$O_V = \frac{1}{2} \rho S_x v_r^2 c_x \text{ je odpor vzduchu,} \quad (8.c)$$

kde ρ ... je hustota vzduchu [kg/m^3],

S_x ...čelní plocha vozu [m^2],

c_x ... airodynamický součinitel [1],

$$O_A = m \frac{dv}{dt} \quad (8.d)$$

$$m = m_{\text{VOZ}} * v \quad (8.e)$$

kde: v ... součinitel vlivu rotujících hmot [1],

$m_{\text{voz}} \dots$ hmotnost vozidla.

Na zkušebním stavu pak platí tato rovnice:

$$F_K \cdot r_V = M + J \cdot \frac{d\omega_V}{dt} \quad (9)$$

kde: F_K - hnací síla na kole,

r_V - poloměr válce,

M - brzdňý moment, který vyvozuje brzda, vztažen na osu válce,

J - moment setrvačnosti celého zkušebního stavu (včetně vozidla)
vztažený na osu válce,

$\frac{d\omega_V}{dt}$ - úhlové zrychlení válce.

Točivý moment musí být regulován tak, aby při libovolné akceleraci vozidla měla rychlost jízdy stejný průběh jako v reálné jízdě po silnici.

Po vyjádření F_K , např. z rovnice (8) a dosazením do (9), dostaneme:

$$\frac{M}{r_V} = O_F + O_V + O_S + \left(m \cdot r_V - \frac{J}{r_V} \right) \frac{d\omega_V}{dt} \quad (10)$$

Poté celou rovnici vynásobíme r_V a dosadíme za M , m , J a dostaneme:

$$M_B + M_{OB} = M_F + M_V + M_S + \left(m_{\text{voz}} \cdot r_V^2 + J_{\text{voz}} - J_{\text{voz}} - J_B \right) \cdot \frac{d\omega_V}{dt} \quad (11)$$

$$M_B + M_{OB} + J_B \cdot \frac{d\omega_V}{dt} = M_F + M_V + M_S + m_{\text{voz}} \cdot r_V^2 \cdot \frac{d\omega_V}{dt} \quad (12)$$

kde: M_B – brzdňý moment vířivé brzdý vyvozený proudem v jejím budícím
vinutí [Nm],

M_{OB} – je pasivní moment celého kompletu brzdá-válec [Nm],

M_F , M_V , M_S – momenty jízdňích odporů vztažených na osu válce [Nm],

J_B – moment setrvačnosti celého kompletu brzdá-válec [kgm²],

J_{voz} – moment setrvačnosti všech rotačních částí vozidla vztažených na
osu válce [kgm²],

m_{voz} – hmotnost vozidla [kg].

Z poslední rovnice (12) lze vypočítat, že vypadl člen J_{VOZ} , protože je ve skutečnosti přítomen na vozidle a není třeba ho simulovat. Úkolem je tedy vyjádřit člen M_B a podle jeho velikosti regulovat proud v budícím vinutí vířivé brzdy. Jelikož vířivá brzda může pracovat jen v brzdných kvadrantech, nelze při nulovém buzení vyvozovat menší brzdny moment, než je součet momentu pasivního odporu samotné brzdy a dynamického momentu brzdy daného jejím momentem setrvačnosti J_B .

Jelikož má vozidlo na zkušebně svůj vlastní valivý odpor, měl by v rovnici (12) být přítomen také člen M_{FKV} zohledňující tuto skutečnost. Jeho vynecháním dojde k tomu, že výsledný valivý odpor bude součtem žádaného simulovaného a skutečného valivého odporu. [10]

Rovnice potom bude vypadat takto:

$$M_B + M_{OB} + J_B \cdot \frac{d\omega_V}{dt} = M_F + M_V + M_S + m_{VOZ} \cdot r_V^2 \cdot \frac{d\omega_V}{dt} - M_{FKV} \quad (13)$$

1.2. Statické zkoušky

Jedná se o zkoušky charakteristik motorů, při kterých je hnací agregát (spalovací motor, elektromotor) demontován z vozidla. Je připevněn na zkušební stolicí a jeho točivý moment je bezprostředně přenášen na brzdou. Ta bývá nejčastěji hydrodynamická. Tento druh zkoušky je časově náročný a pro časté měření nevýhodný. Na druhé straně se jedná o jednu z nejpřesnějších metod měření výkonu a točivého momentu motoru.

Zkoušky na stolicích mají značně zjednodušený měřicí řetězec, který lze popsat například takto:

Hnací agregát – součást pro přenos točivého momentu – hydrodynamická brzda.

Z daného řetězce vyplývá, že zkoušku neovlivňuje převodové ústrojí, skluz pneumatik, odpory válců apod., stejně tak i odpory zrychlujících se rotačních hmot. Při zkoušce se uvažuje pouze moment setrvačnosti daného motoru a ústrojí na přenos momentu.

Využití této zkoušky připadá v úvahu jen ve vývojových podmínkách nebo při profesionálním přístupu k ladění motorů. Popř. ji lze realizovat až po dokončení všech úprav jako jednu z nejspolehlivějších zkoušek za účelem zjištění co nejpřesnějších hodnot výkonu a točivého momentu.



Obr. 3 – zkušebna pro statické výkonové zkoušky motorů [5]

2. Teorie měření s indukčním snímačem otáček

Teorie měření s indukčním snímačem otáček v podstatě vychází z popsaných metod (viz kapitola 1). Algoritmus výpočtu vznikl úpravou výpočtu z dynamických zkoušek. Tento výpočet bude zvlášť popsán v kapitole 3.

Metoda vychází z naměřeného signálu, který vznikne indukčním snímáním z vysokonapětového kabelu. Tímto je také značně omezen rozsah použití měřicí metody při použití prezentovaného měřícího zařízení. Téměř celé spektrum dnes používaných spalovacích motorů by bylo možné touto metodou výkonově diagnostikovat, avšak pouze s použitím osciloskopu.

Tyto impulsy jsou zpracovány a vyjádřeny jako nárůst otáček motoru v čase. Výstupem z měření je zvukový záznam se zachycenými impulsy. Analýzou pomocí algoritmu, který je schopen ze záznamu detekovat každý zaznamenaný impuls a přiřadit mu časovou hodnotu, dostaneme zmiňovaný průběh nárůstu otáček v čase. Časová osa je definovaná vlastním formátem záznamu – vzorkování audio záznamů (např. pro MP3 44kHz). Při měření výkonu běžného osobního automobilu, např. na druhý rychlostní stupeň, kdy nedochází k prokluzu kol, bude tento test probíhat 5-10 sekund. Je tedy patrné, že pro tyto účely je tato frekvence zcela dostatečná. Do výpočtového řetězce musí být dále zahrnuty další parametry, aby bylo možné vyjádřit odpory působící na automobil během zkoušky – průběh jízdních odporů. Tyto odpory tvoří zátěž motoru při zkoušce společně s odpory vzniklými nárůstem otáček rotujících hmot. Stejně důležitá je také volba prostředí pro měření a volba měřícího postupu – popsáno v kapitole 4.

Je tedy nutné stanovit co nejpřesněji parametry pro výpočet, aby výstupem byly nejpřesnější absolutní hodnoty výkonů a kroutících momentů. Pokud je metoda používaná jako orientační (např. měření nárůstu výkonu po úpravě) lze zadané parametry určit např. z empirických vztahů apod. Měření poté nebude mít charakter stanovení co nejpřesnějších absolutních hodnot, ale bude vypočítávat relativnímu nárůstu výkonu. Tímto postupem můžeme metodu využívat při ladění spalovacích motorů. Stanovíme optimální konfiguraci a pro přesné určení průběhů výkonu a točivého momentu zvolíme přesnější metodu (např. válcovou zkušebnu).

2.1. Induktivní snímač

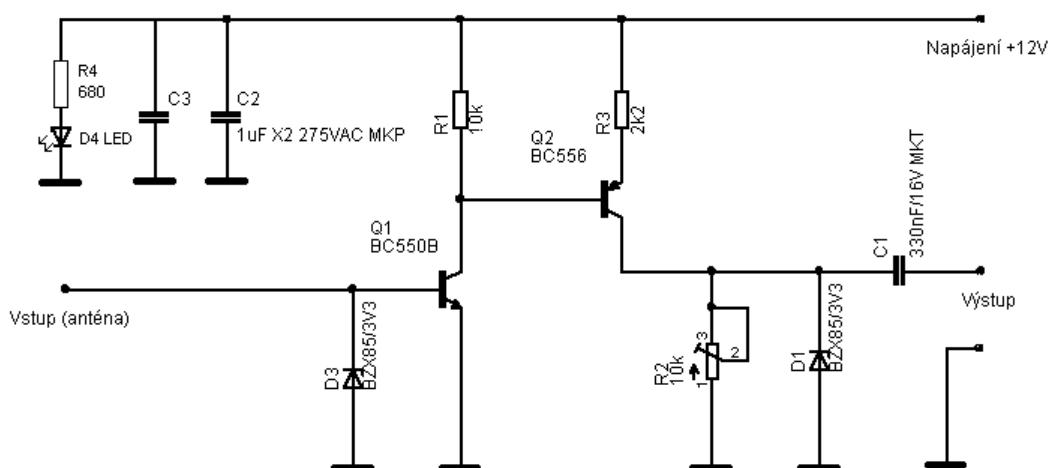
Induktivní snímač je primární součástí měřícího řetězce. Pro použité měřící zařízení se jedná o odstíněný vodič, na kterém se indukuje napětí vždy v okamžiku, kdy protéká vysokonapěťovým kabelem elektrický proud potřebný pro přeskok jiskry na zapalovací svíčke.

Tato konfigurace je pro naše měření dostatečná. Při požadavku na přesný průběh elektrického proudu do zapalovací svíčky je zapotřebí použít např. induktivní kleště a osciloskop.

Ostatní požadavky na snímač nejsou zvláště náročné, teplota v okolí vysokonapěťových kabelů není při chodu motoru extrémně zvýšená, aby poškodila snímač.. Důležitější je odstínění kabelu, který přenáší signál do měřícího zařízení, aby byl signál co nejpřesnější a neobsahoval jiné stochastické vzruchy, které při následném zesílení mohou znehodnotit výstupní signál.

2.2. Měřící zařízení

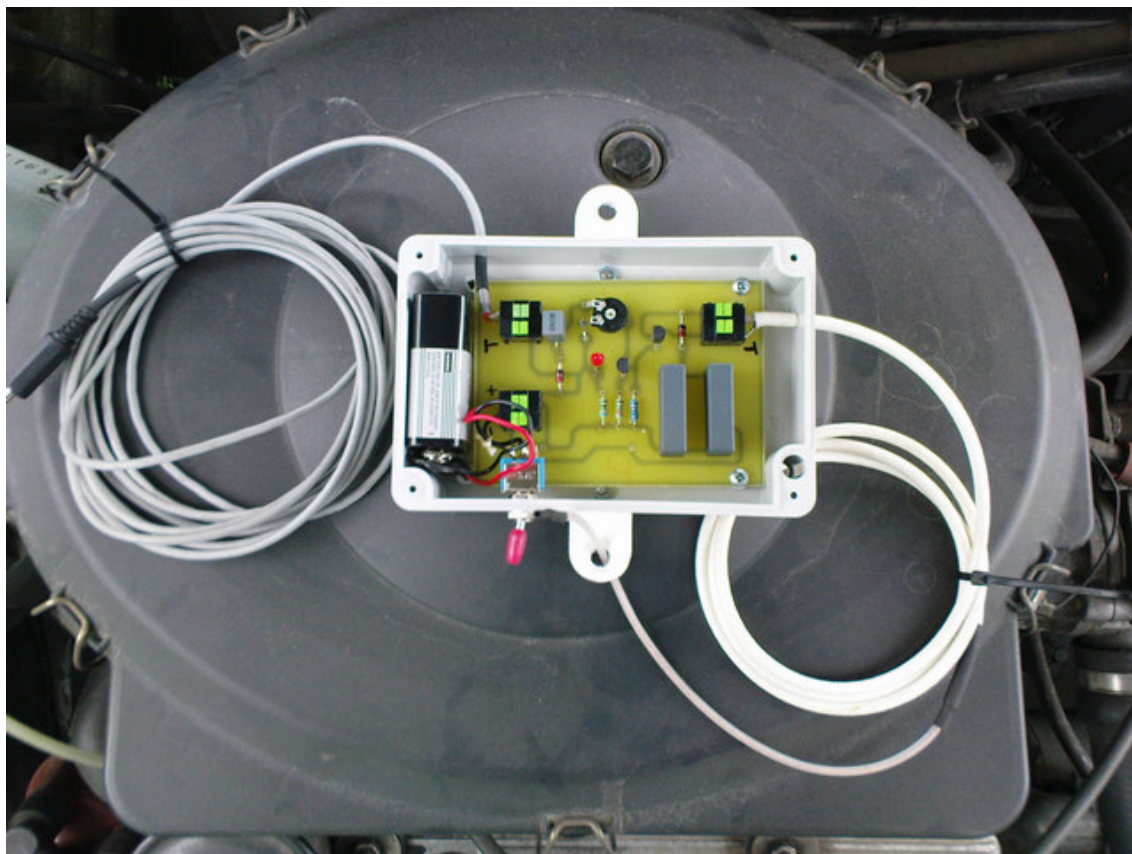
Byl popsán induktivní snímač a impulsy, které se přenášejí ze snímače do měřícího zařízení. Toto zařízení lze zjednodušeně označit jako nízkofrekvenční jednokanálový zesilovač.



Obr. 4 – Elektrické schéma měřícího zařízení [2]

Na obrázku je znázorněné elektrické schéma měřícího zařízení. Vstup (anténa) je kladný pól signálové cesty, tzn. vstup od induktivního snímače. Napájení +12V je na

schématu realizováno z autobaterie (resp. palubní sítě automobilu). Toto uspořádání jsem poupravil na napájení z 9V baterie. Energetická bilance daného obvodu umožňuje zcela bezproblémový chod zařízení na 9V zdroj malé kapacity i po dobu několika hodin. Dále je 9V pro všechny součásti obvodu postačující pro bezproblémový chod (jedná se zejména o tranzistory Q1 a Q2). Výstup ze zařízení je stíněným kabelem zakončeným 3,5mm Jack konektorem. Ochranu proti přebuzení výstupu zajišťují zenerovy diody. Rezistory R1 a R3 korigují napětí přiváděné na zesilovací tranzistory. Variabilní odpor R2 slouží k přesnému doladění úrovně výstupního signálu. Indikace zapnutí zařízení je realizována pomocí LED. Rezistor R4 slouží ke snížení napětí na diodě D4.



Obr. 5 – Odkrytované měřící zařízení

Na obrázku je zachyceno odkrytované měřící zařízení. Vlevo se nachází datový kabel, který se propojuje s notebookem, popř. jiným záznamovým zařízením. Vpravo na obrázku je stíněný signálový kabel zakončený nestíněnou částí. Tato část tvoří zároveň induktivní snímač. Uvnitř vlevo u tištěného spoje se nachází konvenční 9V baterie, která se pro toto měřící zařízení osvědčila. Dále je měřící zařízení vybaveno vypínačem,

aby nedocházelo ke zbytečnému vybíjení baterie v průběhu příprav měření. Zapnutý stav celého zařízení je indikován červenou světelnou diodou (na plošném spoji na obr. 5 je umístěna přibližně uprostřed). Měřicí zařízení je dále vybaveno otvory pro rychlé uchycení v motorovém prostoru.

2.3. Záznamové zařízení

Nyní už je náležitě popsán měřicí řetězec. Na konci tohoto řetězce se nachází záznamové zařízení. Induktivní snímač zachytí impuls vyslaný na zapalovací svíčku. Tento impuls má za následek indukci malého napětí a proudu na snímači. Dále je zesílen v měřícím zařízení a z měřícího zařízení je odeslán v požadované úrovni k záznamu. Výstup z měřícího přístroje je realizován pomocí 3,5mm Jack konektoru. Tímto je zároveň dáno kritérium pro záznamové zařízení. Při měření pro tuto práci jsem použil notebook. Použití počítače je nejvýhodnější, protože můžeme ihned prohlížet naměřené průběhy, a popř. tak odhalit zejména systematické chyby vzniklé při měření. Požadavky na počítač se není potřeby zabývat, protože nahrání zvukového signálu umožňuje většina přenosných počítačů. Jediná mírná nevýhoda využití notebooku pro tento účel je nutnost softwarového vybavení. Jedná se o programy, které umožňují aktivovat audio vstup a zaznamenat vstupující signál. Pro tento účel postačí i audioeditory vydané jako freeware, popř. editory, které jsou součástí jiných, běžných programů (např. Nero wave editor). Já osobně pro tyto účely používám program od společnosti Sonic Foundry – Sound Forge 6.0. Jedná se o velmi propracovaný software, který disponuje řadou funkcí, které jsou nad rámec našeho použití. Kompletní rozbor této problematiky v programu Sound Forge 6.0 je probrán v kapitole 3.

Alternativní možností pro záznam zvuku je diktafon určený pro širší použití, který je vybaven vstupem line-in stejně jako každý dnešní notebook. Použití diktafonu je také výhodné. Má malé rozměry a jednoduše se obsluhuje. Jedinou jeho nevýhodou je absence možnosti prohlédnutí průběhu bezprostředně po měření. Tuto část musíme řešit stejně na počítači ve zvukovém editoru. Stejně tak i další případné úpravy záznamu.



Obr. 6 – Měřící řetězec

Na obrázku je pohromadě celý měřící řetězec testovaný na voze Škoda Felicia 1,3 BMM. Obrázek 6 je samozřejmě pouze ilustrativní, protože při vlastní akcelerační zkoušce se nachází záznamové zařízení v kabině vozu. Délka datového kabelu je zvolena dostatečná pro většinu vozů. V motorovém prostoru se nachází pouze snímač a měřící přístroj. Na obrázku je dále názorně vidět snímač umístěný na vysokonapětovém kabelu pro čtvrtý válec.

3. Zpracování vstupních hodnot a výpočet

Vyhodnocení měřící zkoušky lze teoreticky rozdělit na tři základní části:

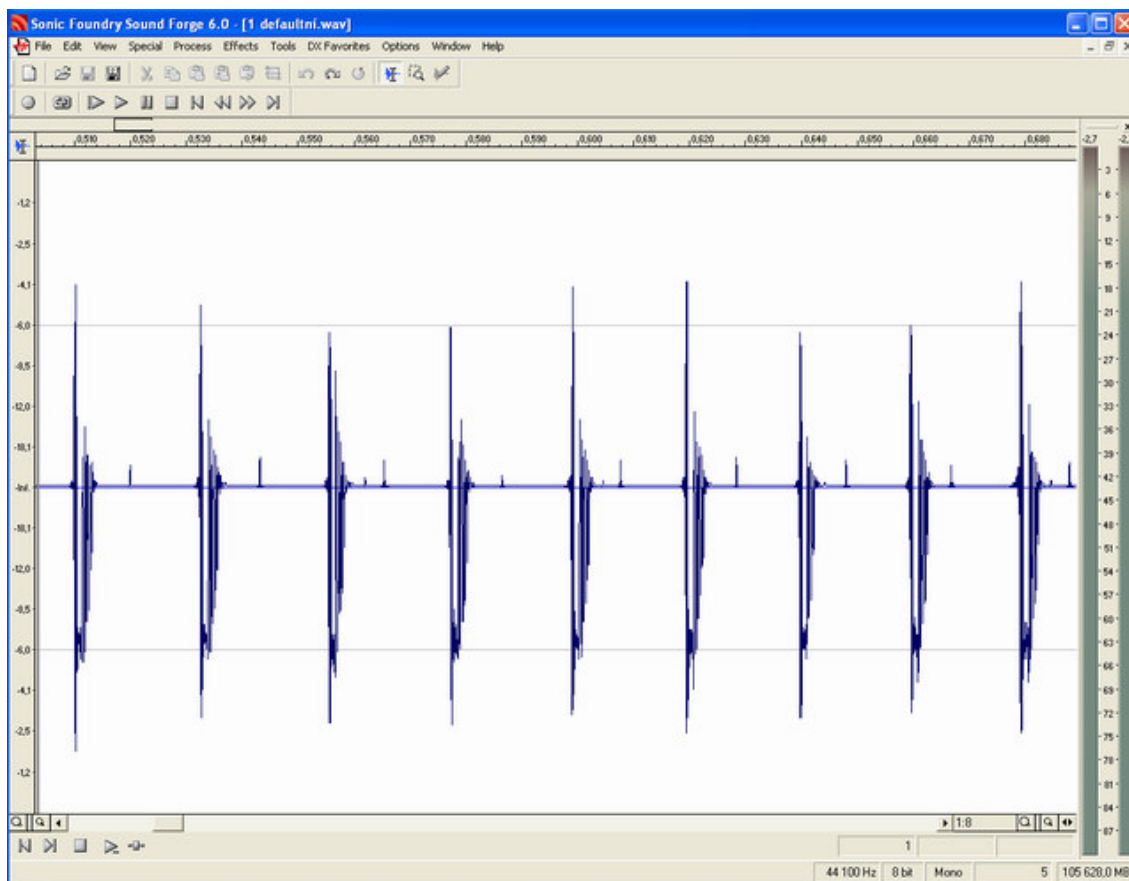
- odstranění počátku a konce naměřeného signálu (motor nebyl pod plným zatížením), případné korekce primárního zvukového záznamu ve zvukovém editoru,
- výpočet průběhu otáček motoru v závislosti na čase pomocí zvukového analyzery,
- stanovení měřených průběhů výpočtem v programu MS Excel.

3.1. Zpracování zvukového signálu

Pořízený zvukový signál (MP3 nebo wave) je potřeby náležitě upravit pro další zpracování. Jedná se zejména o odstranění krajních hodnot zvukového souboru:

- počátek záznamu – doba od spuštění nahrávání na záznamovém zařízení do doby plného zatížení motoru v požadovaných otáčkách,
- konec záznamu – doba od dosažení maximálních otáček do doby ukončení nahrávání,

Tato korekce bývá ve většině případů dostatečná a není ji potřeba provádět zcela přesně. Finální korekci lze provést v programu MS Excel.

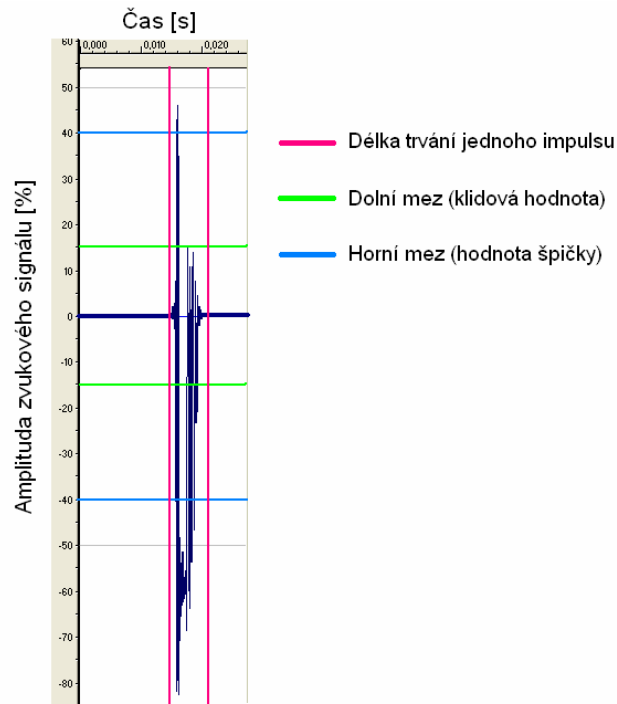


Obr. 7 – Zvukový editor

Na obrázku je příklad použití zvukového editoru Sound forge 6.0. Jednotlivé zákmity interpretují přeskok jiskry na zapalovací svíče. Vodorovná osa vyjadřuje čas, svislá osa úroveň signálu. Na obrázku je zachyceno přibližně 0,15 sekundy záznamu. Drobné zákmity vyskytující se mezi jednotlivými impulsy mohou být způsobeny parazitními vlivy, popř. konstrukcí nebo závadou zapalovací soustavy. Pro další výpočet nejsou vlivy v tomto rozsahu na závadu.

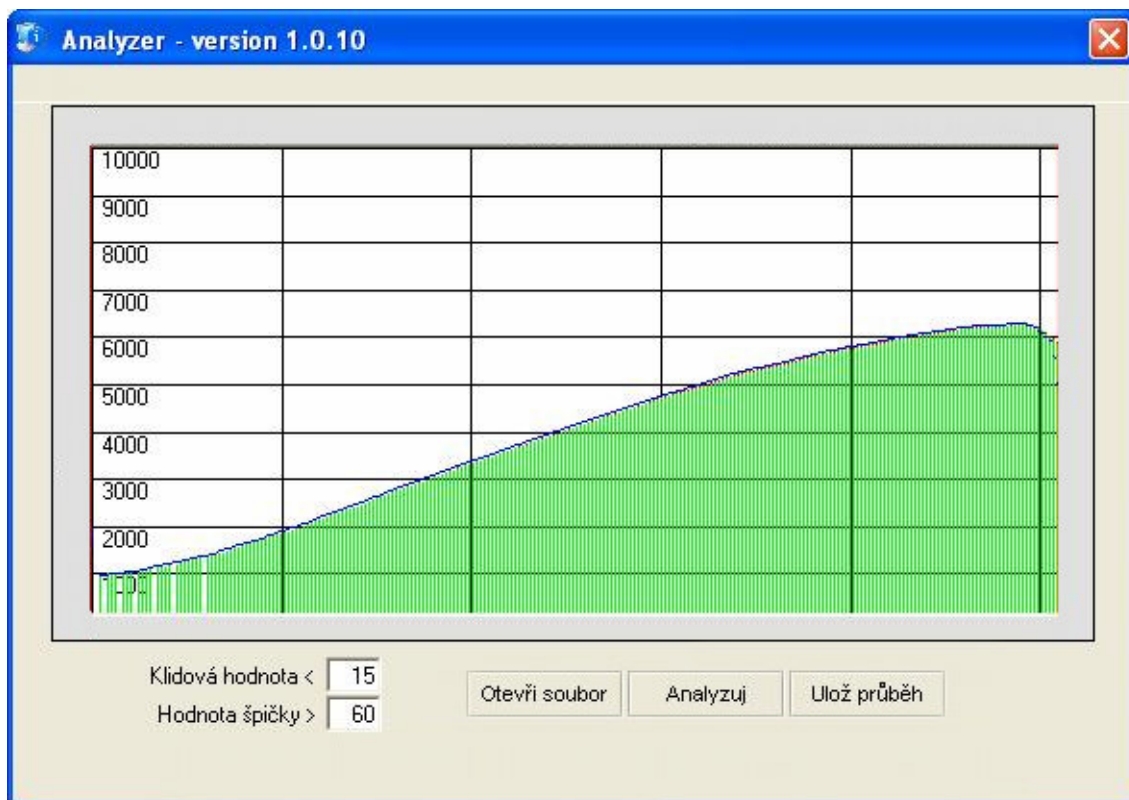
Po úpravě souboru ve zvukovém editoru je nutné celý záznam analyzovat. Jedná se o proceduru, která dokáže zaznamenat čas nahrávky ve chvíli, kdy došlo k přeskoku jiskry na zapalovací svíče. K tomuto účelu byl vytvořen program – analyzer. Tento program vychází z předchozích verzí [2]. Vznikl po několika konzultacích s kolegy z oborů informačních technologiích.

Slovy popsáný algoritmus, na kterém je založena analýza záznamu: Program zaznamená čas, jestliže úroňňová hodnota překročí danou mez, a zároveň pokud nebyl čas zaznamenán bezprostředně předtím – druhá mez. Sekundární část algoritmu je nutná vzhledem k zákmitům pro jeden impuls.



Obr. 8 – Detailní průběh impulsu

Na obrázku je rozkreslen jeden impuls v záznamu. Hodnoty menší než dolní mez představují střední hodnotu pro záznam. Modré úsečky interpretují horní mez. Jak už bylo zmíněno, jedná se o hodnoty, při jejichž překročení se přechází na sekundární krok algoritmu. Růžové úsečky představují časovou mez. Tento parametr zabezpečuje zaznamenání pouze jednoho časového údaje pro jeden impuls (první překročení primární meze – zbylé zákmity pro daný impuls se neprojeví). Tímto způsobem jsou výstupem z celého záznamu jen časové údaje, kdy přeskakovala jiskra na dané zapalovací svíče. Avšak při základní znalosti konstrukce spalovacího motoru (dvoudobý, čtyřdobý, dvoucívkové zapalování atd.) lze z rozdílů časových hodnot stanovit otáčky motoru pro daný pár těchto časových hodnot. Tímto je získán průběh otáček motoru v závislosti na čase.



Obr. 9 – Obrázek okna analyzera

Klidová hodnota a hodnota špičky – tyto parametry určíme z předchozí analýzy v textovém editoru. Po otevření souboru a zadání vstupních parametrů spustíme vlastní test tlačítkem „Analyzuj“. Do okna programu se nahraje graf závislosti otáček motoru na čase. Posledním krokem je uložení průběhu a jeho následné zpracování v programu MS Excel.

3.2. Výpočet průběhů výkonu a točivého momentu

Tento výpočet bezprostředně navazuje na předchozí kroky. Z analyzera dostaneme do aplikace MS Excel dvě datové řady – v tomto programu je názorný výpočet a pro zkoumání popisované metody je zcela dostatečný. Jedna řada představuje čas a druhá otáčky motoru. Do výpočtu je nutné zadat řadu parametrů pro dané vozidlo.

Vstupní parametry:

- převodový poměr stálého převodu a rychlostního stupně
- odpor valení a odpor zrychlujících rotujících hmot
- aerodynamický součinitel a čelní plocha vozu
- dynamický poloměr kola a hmotnost vozu

- účinnost převodů

Jednotlivé číselné řady potřebné ke stanovení průběhu výkonu točivého momentu a jejich výpočet:

- časová osa – je získána z analyzera a patří mezi vstupy do výpočtu v MS Excelu
- průběh otáček v závislosti na čase – stejně jako čas je vstupem do výpočtu
- průběh rychlosti vozu v závislosti na otáčkách, pro výpočet byl použit empirický

$$\text{vztah: } V = \frac{0,377 * n * r_d}{i_c}, \quad (14)$$

kde:

V... rychlost vozu [km/h],

n... otáčky motoru [1/min],

r_d... dynamický poloměr (do výpočtu dosazován statický) [m],

i_c... převodový poměr celkového převodu na daný rychlostní stupeň,

- průběh zrychlení vozu:

$$\text{vztah: } a = \frac{dv}{dt} \quad (\text{počítáno z průběhu rychlosti a času}) \quad (15)$$

- průběhy jízdních odporů v závislosti na rychlosti a zrychlení vozu (výpočet rovnice 8.a, 8.b, 8.c),

- průběh trakční síly vozu $F_t = F_f + F_v + F_{zr}$, (16)

kde:

F_t... trakční síla na kolech vozu [N],

F_f... odpor valení [N],

F_v... odpor vzduchu [N],

F_{zr}... odporová síla působící proti zrychlení vozu [N],

- průběh točivého momentu daného motoru v závislosti na otáčkách

$$M_k = \frac{F_t * r_d}{i_c * \eta}, \quad (17)$$

kde:

M_k... kroutící moment motoru [Nm],

μ... účinnost převodů [1],

- průběh výkonu motoru v závislosti na otáčkách

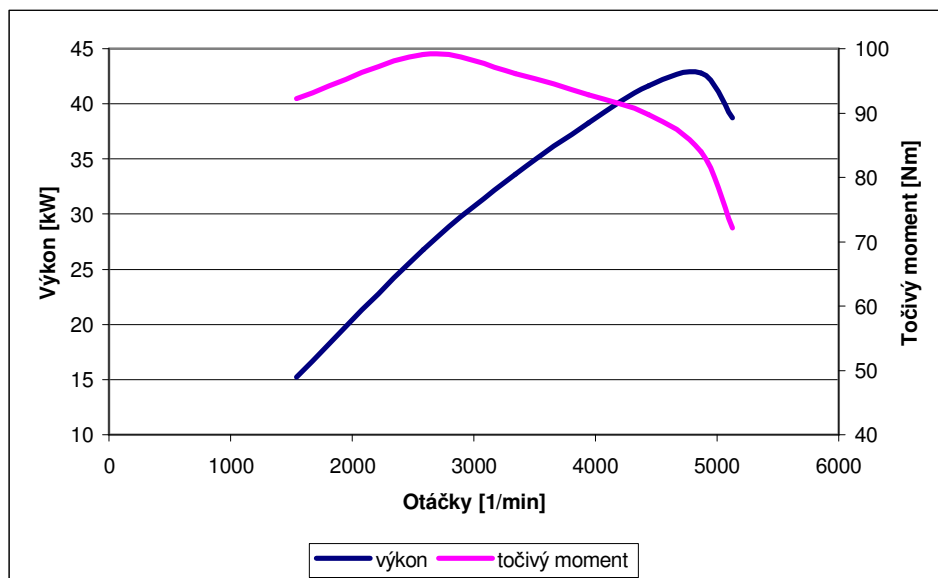
$$P = 2\pi * n * M_k, \quad (18)$$

kde:

P ... výkon motoru [W],

n ... otáčky motoru [1/s].

Výstupem výpočtu je grafické vyjádření průběhu výkonu a točivého momentu spalovacího motoru. Z grafu je názorně vidět, že strmý nárůst výkonu má za následek mírný nárůst točivého momentu. Jestliže směrnice křivky výkonu klesne pod určitou mez, nastává pokles točivého momentu.



Graf 1 – Výsledek výpočtu v MS Excel

4. Postup při praktickém měření na vozidle

4.1. Volba vhodného prostoru

Důležitou součástí této měřicí metody je volba úseku, na kterém chceme provádět akcelerační zkoušku. Ještě před problematikou vlastního měření je nutné uvážit bezpečnost tohoto testu. Vozidlo při měření není zatíženo jakýmkoliv zásahem, který by měl za následek nezpůsobilost vozidla k silničnímu provozu. Je ovšem nutné uvážit průběh testu. Uvedu příklad: Testovaný osobní automobil bude konstrukčně řešen tak, že na maximální otáčky motoru, např. na druhý rychlostní stupeň, bude jeho rychlost 95km/h. Je patrné, že na konci testu bude rychlost vozu větší, než je maximální dovolená rychlost v České Republice mimo obec. Volba nižšího převodového stupně nebude vzhledem k výkonu motoru a adhezním podmínkám možná v důsledku nadměrného skluzu pneumatik. Použití na rychlostních komunikacích, kde je povolená rychlost např. 130km/h, považuji za nemožné vzhledem k bezpečnosti provozu. Nejen tento příklad, ale i uvážení ohleduplnosti k ostatním účastníkům silničního provozu hovoří jasně o použití dané měřicí metody na úsecích určených pro testování, popř. veřejnosti přístupná letiště. Tyto prostory lze považovat za bezpečné a umožňují kvalitnější i etičtější průběh testu.

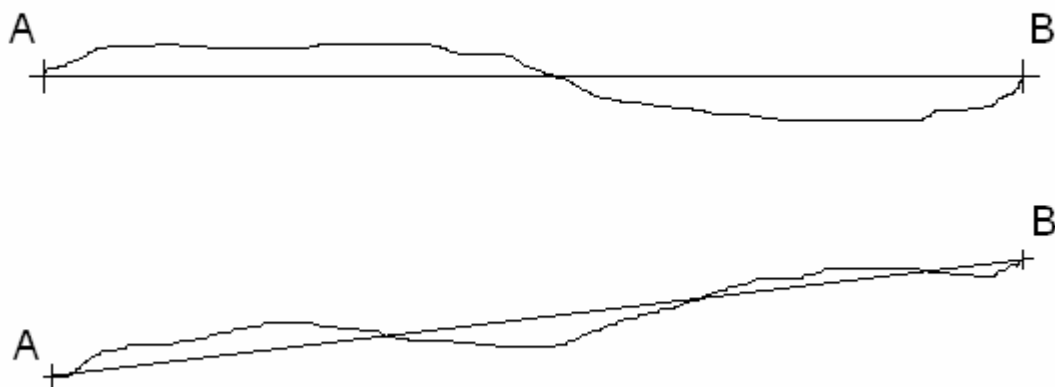


Obr. 10 – Letištní dráha v Mimoňi [11]

Uvedené prostory vhodné pro průběh testu zahrnují další výhody, které bezprostředně souvisí s ovlivněním výsledku měření. Důležitým kritériem je provádět jízdní zkoušku bez jakéhokoliv zásahu do směru jízdy vozidla. Průjezd zatáčkou i o velkém rádiu je doprovázen zvýšeným třením pneumatik a také třením vzniklým v diferenciálu (tření vznikající vnitřní účinností diferenciálu). Tyto další odpory, které by působily na vozidlo, nejsou zahrnuty do výpočtu a měly by za následek zbytečné zneřádnění výsledku.

Důležitou součástí je také povrch vozovky, na které provádíme zkoušku. Samozřejmostí je čistá vozovka stejnorodého povrchu bez nerovností. Při měření na nižší rychlostní stupně v kombinaci se silnými motory je důležitý také součinitel adheze povrchu vozovky. Pro měření např. až na třetí převodový stupeň je nutné uvažovat relativně velkou vzdálenost, na které bude test probíhat a také vysokou koncovou rychlost vozu. Vlivem adhezních podmínek je nevhodné aplikovat tuto metodu za deštivého počasí, obecněji řečeno na mokré vozovce. Voda na vozovce má zásadní vliv nejen na součinitel adheze, ale i na odpor valení, který je větší než na suchém povrchu. Tato změna by opět při neobsažení ve výpočtu měla za následek nepřesný výsledek testu.

Nejširší problematikou volby vhodného prostoru je požadavek na zcela vodorovný povrch. V algoritmu výpočtu není zohledněn odpor ze stoupání, je uvažován absolutně rovný povrch s úhlem stoupání, popř. klesání, $\alpha = 0$. Pro výpočet by samozřejmě nebyl problém zahrnout do algoritmu i tuto skutečnost, ale s největší pravděpodobností nebudeme mít možnost daný úhel α stanovit, a už vůbec ne pro každou část úseku. Tuto nepříjemnou skutečnost lze částečně kompenzovat vhodným postupem měření. Jako nejjednodušší se nabízí možnost provádět výkonový test dvakrát. Zjednodušeně řečeno tam i zpět. Tím dojde k částečné kompenzaci těchto nesrovnalostí ovlivňující výpočet a následně výsledek. Postup je také vhodný z hlediska eliminování povětrnostních podmínek. Tento způsob měření si však není vhodné vykládat dogmaticky, např. při silném větru bych měření vůbec nedoporučoval, protože i boční proudění vzduchu může velmi negativně ovlivnit výsledek testu. Při realizaci dvou měření je vhodné z těchto dvou průběhů vypočítat aritmetický průměr. Nejelegantnější řešení je realizace pomocí aplikace MS Excel, kde není problémem sjednocení těchto dvou zkoušek a následné vypočtení přesnějšího výsledku.



Obr. 11 – Uspořádání terénu

Na obrázku jsou ilustrativně znázorněny dva možné příklady uspořádání terénu. Bod A vyjadřuje začátek testu pro první měření a bod B konec testu pro první měření. Pro druhé měření je pořadí samozřejmě opačné. Obrázek dále vypovídá o možném zneřádnění naměřeného signálu.

V první modelové situaci bude metoda dvojího měření účinnější. Dojde z určité části ke kompenzaci nerovnosti vozovky. Ztráta z prvního měření na jeho počátku je kompenzována na počátku druhého měření. Určitým nepřesnostem se přesto nevyvarujeme, protože charakteristika spalovacího motoru nemá lineární průběh a ztráta nabraná v nízkých otáčkách může být hlubší, než následná kompenzace. Stejně tak i rychlost vozidla ovlivňuje kinetickou energii v druhé mocnině, tzn. že stoupání v závěru testu nevytvoří takovou ztrátu jako stejné stoupání na počátku testu.

Druhá modelová situace znázorňuje terén, kde body A a B neleží ve vodorovné rovině. Zde platí vše, co bylo popsáno pro první situaci, kterou lze chápat jako částečně idealizovanou, protože uvedené body budou mít s největší pravděpodobností nějaký výškový rozdíl. Kompenzace tohoto rozdílu, kdy se při jednom z testů automobil pohybuje do mírného stoupání, je velmi důležitá pro stanovení co nejpřesnějších hodnot.

Volbu terénu je tedy nutné nepodcenit, protože má přímý vliv na výsledné průběhy. Metodou dvojího měření na jednom úseku (tam a zpět) lze určitým způsobem kompenzovat vzniklé chyby, nelze je však zcela eliminovat.

4.2. Příprava vozidla

Před testem výkonu je třeba zkontrolovat technický stav vozidla z důvodu podmínek nutných pro správné měření. Jedná se zejména o nahuštění pneumatik na předepsaný tlak, bezporuchové brzdové a tlumící systémy, těsné výfukové potrubí atd.

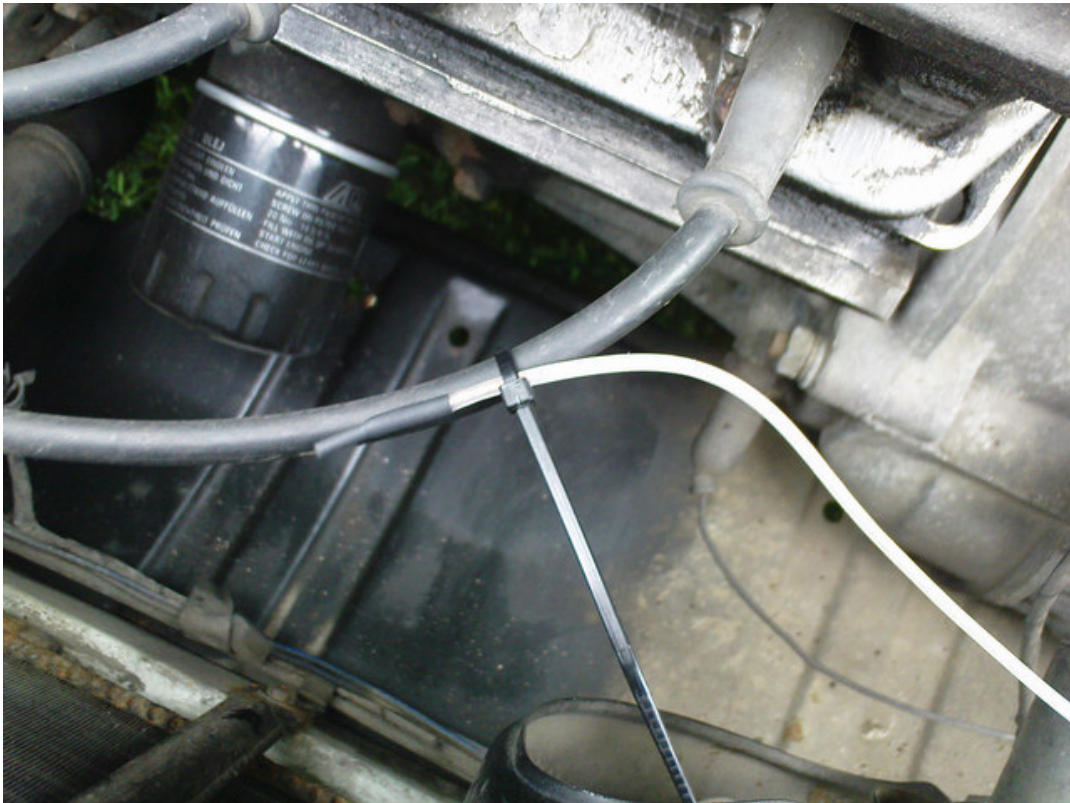
Měření výkonu představuje pro motor maximální zátěž a je tedy samozřejmostí, že při testu musí být motor zahřátý na optimální teplotu. Doporučil bych také kontrolu množství chladicí kapaliny a v neposlední řadě také motorového oleje. Zkoušku není vhodné provádět s olejem, kterému se blíží interval výměny. Podle uvážení je možné do vozu natankovat benzín s vyšším oktanovým číslem, aby na počátku testu při plném zatížení nedocházelo k detonačnímu průběhu spalování.

4.3. Instalace měřícího zařízení

Instalace není složitá. Vhodnou pomůckou jsou elektrikářské stahovačky určené na jedno použití. Umožňují rychlou montáž a demontáž a poslouží k přichycení induktivní sondy na vysokonapěťový kabel. Měřící zařízení doporučuji také přichytit.

Při celém procesu musíme brát v úvahu odkryté rotující části motoru – klínový řemen, řemenice, alternátor atd. Důležitá je také povrchová teplota motoru, která by mohla poškodit vodiče, popř. i měřící zařízení. Je tedy potřeba celé měřící zařízení v motorovém prostoru situovat co nejvýhodněji. V každém typu vozu může být vhodné umístění specifické vzhledem ke konstrukci motoru a jeho uložení.

Výstupní vodič z měřícího zařízení je nutné vést pod přední kapotou přes boční okno do kabiny vozu, kde se nachází záznamové zařízení. U žádného z testovaných automobilů (Škoda Felicia, Škoda Favorit, Hyundai Getz) nebylo problémem vyvést tenký vodič bez deformací z motorového prostoru.



Obr. 12 – Detail uchycení snímače

Na obrázku je detailně zachycena jedna z možností připevnění induktivního snímače. Stejným principem doporučuji připevnit i měřicí zařízení.

Tyto již zmiňované elektrikářské stahovačky jsou dále vhodné vzhledem ke své nevodivosti. Sonda, která by byla přidělána např. drátem by nemusela fungovat správně.

4.4. Akcelerační zkouška

Všechny teoretické rozbory potřebné ke zkoušce už byly uvedeny. Myslím, že je zřejmé, jak bude měření probíhat, ale pro úplnost bude vše náležitě popsáno.

Akcelerační zkoušku může provádět pouze řidič jako samostatná osoba. Osobně z vlastní zkušenosti doporučuji přizvat na zkoušku poučeného spolujezdce, který bude plně obsluhovat záznamové zařízení, protože se nemusí soustředit na řízení automobilu. Postup může probíhat následovně:

Vyznačíme na testovacím úseku bod, který bude sloužit jako startovní místo našeho testu a pomůže nám následně při orientaci pro druhé měření (metoda tam i zpět). V dostatečné vzdálenosti na rozjezd a zařazení požadovaného převodového stupně uvedeme vozidlo do pohybu. Na daný převodový stupeň udržujeme pedálem plynu určitou rychlost (bude se jednat o takovou rychlost, která odpovídá otáčkám

např. 2000ot/min). Při průjezdu kolem vyznačeného bodu na trati zcela sešlápne pedál. V tuto chvíli je nutná komunikace se spolujezdcem, aby bylo včas spuštěno zaznamenávání nahrávky. Probíhá test, motor je vystaven plnému zatížení. Závěr testu je dán maximálními otáčkami motoru (doporučuji nepřekračovat údaje výrobce o více než 10%). Pokud není automobil vybaven omezovačem otáček, popř. byl-li omezovač odstraněn, je potřebné hlídat otáčky, aby nedošlo k destruktivnímu zatížení motoru. Po dosažení maximálního výkonu (automobil přestane ve vysokých otáčkách znatelně zrychlovat) končí test a musí být vyslán další požadavek na spolujezdce v podobě ukončení záznamu.

Důležitou informací je potřeba zaznamenání celkové hmotnosti vozidla. Tzn. hmotnost udávaná výrobcem + hmotnost řidiče a spolujezdce + hmotnost paliva v nádrži + popř. další zatížení. Přibližnou hmotnost benzínu je získána vynásobením jeho objemového množství hodnotou 0,75 (měrná hmotnost benzínu).

5. Hodnocení metody z hlediska nejdůležitějších aspektů

5.1. Rozsah použití

Oblast použití metody byla naznačena v kapitole o teorii měření. Měřicí metoda jako taková má relativně velmi slušný záběr přes celé spektrum typů motorových vozidel. Při použití osciloskopu lze takto diagnostikovat prakticky všechny vozy – zážehové i vznětové. Zjednodušeně řečeno zavedeme sondu na místo, kde jsou generovány impulsy vždy při přeskočení jiskry na zapalovací svíčke. Nemusí se ani jednat o vysokonapěťové kabely. Osciloskop nám přesně vypoví o daných průbězích v měřících bodech, když se bude jednat o napětí v řádu jednotek voltů.

Zařízení na měření průběhů je však velmi nákladné a proto jsem využil alternativy v podobě prezentovaného měřicího zařízení. Cena se pohybuje řádově ve stovkách korun, ale jeho použití je značně omezeno konstrukcí zapalování spalovacího motoru. Při realizaci zapalování bez vysokonapěťového kabelu je dané měřicí zařízení nepoužitelné (např. vozy, kde je transformace napětí přímo u zapalovací svíčky).

Dále je nutné znát řadu parametrů pro daný vůz. Převodové poměry a další součinitele potřebné k vyjádření všech jízdních odporů působících na vozidlo během testu. Je tedy patrné, že využití pro vývoj je zcela neakceptovatelné.

5.2. Chyby měření

V předchozích kapitolách byly naznačeny problémy související s touto měřicí metodou. Zejména problematika volby vhodného prostoru má na měření přímý vliv. Dále je potřebné uvážit chybu měření vzniklou v souvislosti s předstihovou regulací spalovacího procesu. Za běžných podmínek je v průběhu testu zaznamenáno stovky impulsů a tím je chyba způsobená proměnným předstihem částečně eliminována. K určitému zkreslení ale docházet zaručeně bude.

Druhá část výskytu možných chyb může být způsobena nepřesně zadanými parametry, popř. statistickým zpracováním pro rovnoměrnější vykreslení grafu. Chyba způsobená vlastním výpočtem může být způsobena nepřesnými parametry, které jsou nutné pro výpočet. Může se jednat např. o nepřesný součinitel valení, čelní plochu zjištěnou z empirických vztahů atd.

Tyto parametry mají zejména vliv na vyčíslování absolutních hodnot výsledku. Při metodě měření výkonu a točivého momentu zážehového motoru s využitím

induktivního snímače otáček měření nárůstu výkonu (např. po úpravě) jsou požadavky na vstupní parametry volnější. Výsledkem testu poté nebude přesná číselná hodnota maximálního výkonu a točivého momentu, ale např. nárůst výkonu o 10% oproti předchozímu měření před úpravou.

5.3. Porovnání měřících metod

Testu s využitím induktivního snímače byly v průběhu práce podrobeny tři vozy: Škoda Felicia, Škoda Favorit a Hyundai Getz. Poslední z trojice uváděných bude předmětem dalšího popisu v této kapitole. Porovnávat budeme výkon a točivý moment udávaný výrobcem s výsledky naměřenými na válcové brzdě a výsledky z měření s využitím induktivního snímače.. Uváděné grafy berte jako orientační, protože jednotlivé válcové zkušebny se svým výsledkem mohou lišit:

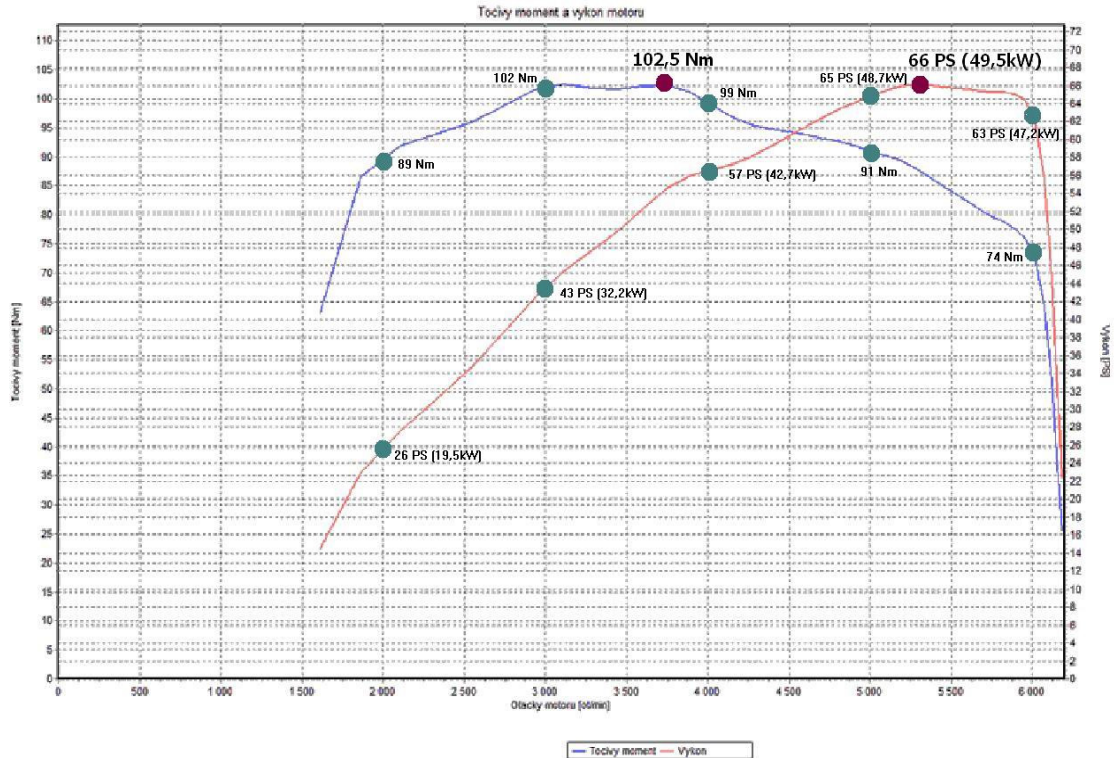
Výrobce – prodejce Válcové zkušebny	Naměřený max.výkon motoru- korigovaný / otáčky	Naměřený max.točivý moment / otáčky
Jaroš	45,77 kW/4028 min ⁻¹	120,89 Nm/2328 min ⁻¹
MAHA Consulting	48,00 kW/4380 min ⁻¹	112,00 Nm/2780 min ⁻¹
Mezservis	42,66 kW/4587,5 min ⁻¹	100,20 Nm/3226,1 min ⁻¹
Bosch	46,10 kW/4240 min ⁻¹	115,80 Nm/2810 min ⁻¹
Technology – Garage	42,90 kW/4545 min ⁻¹	99,70 Nm/2970 min ⁻¹
Údaje výrobce	47,00 kW/4300 min ⁻¹	124 Nm/2500-3200 min ⁻¹

Tab. 1 – Výsledky testu jednoho vozidla na válcových zkušebnách [7]

Hyundai Getz – motor 1,1 zážehový čtyřválec (stav tachometru cca 35 tis. km)

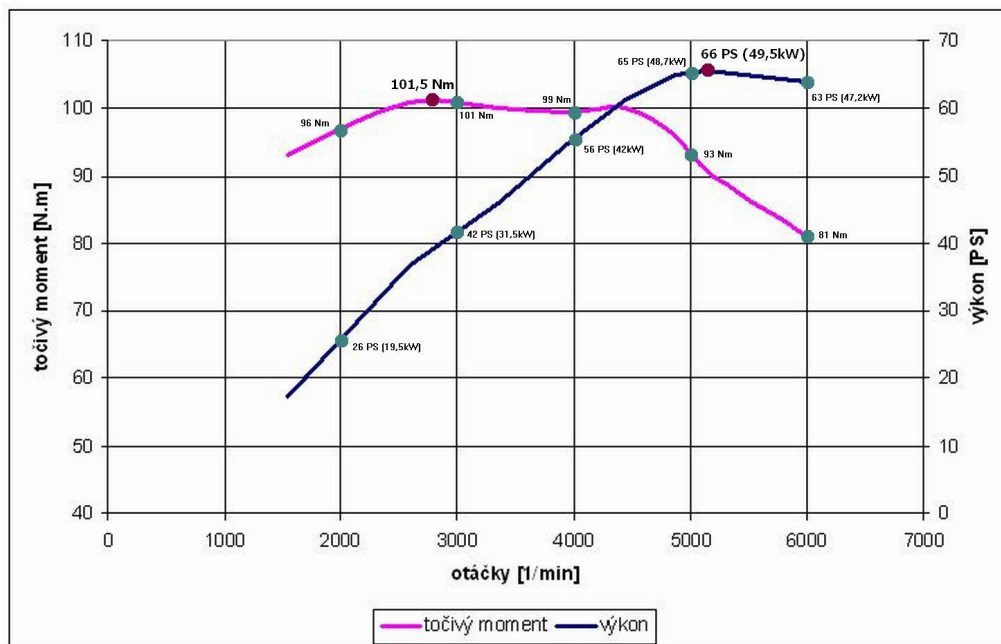
Výrobce udávané maximální hodnoty: výkon – 48kW, točivý moment – 99Nm. [9]

Graf průběhů získaných na válcové zkušebně:



Graf 2 – Výsledek testu na válcové zkušebně [8]

Graf průběhů získaných z měření popisovanou metodou:



Graf 3 – Výsledek testu měření s induktivním snímačem

Na křivkách grafů 2 a 3 jsou pro názornost vyznačeny body a číselné hodnoty, které těmto bodům odpovídají. Číselné hodnoty maximálního výkonu a točivého momentu mají odchylku ($\pm 1 \text{ Nm}$ a $\pm 1 \text{ PS}$). Byl naměřen výkon 66 PS při 5300 ot/min na válcové brzdě a 66 PS při 5150 ot/min alternativní metodou. Tyto výsledky mohou být ovlivněny použitým palivem od různých dodavatelů, protože dané testy neprobíhaly bezprostředně po sobě. Maximální točivý moment se u těchto dvou testů liší o 1 Nm. Avšak u testu na válcové zkušebně je tato hodnota 102,5 Nm při 3500 ot/min a u testu s induktivním snímačem 101,5 Nm při 2850 ot/min. Oblast 2900 ot/min – 3600 ot/min lze pro točivý moment nejlépe popsat konstantní funkcí - 101 Nm \pm 2 Nm tzn., že nepřesnost v měření např. 1 Nm může výrazně ovlivnit otáčky maximálního točivého momentu. Tato nepřesnost mohla být způsobena mírnou nerovností na testovacím úseku při měření alternativní metodou (konkrétně klesáním v oblasti 2500-3000 ot/min). Nesrovnalosti ve výsledcích obou testů jsou nejvýraznější na počátku měření (1500-2000 ot/min). Tyto odchylky lze přisoudit odlišné manipulaci s plynovým pedálem na počátku testu. Při měření s induktivním snímačem došlo na začátku testu (1500 ot/min) k rychlému sešlápnutí plynového pedálu. Řídící jednotka tak mohla reagovat prodlouženou dobou vstřiku, aby v důsledku otevření škrtící klapky nedošlo ke krátkodobému ochuzení směsi. Při testu na válcové zkušebně byl plynový pedál sešlapáván postupně a tím nebylo potřeby obohacovat směs v těchto nižších otáčkách. Tato skutečnost se projevila výraznou odchylkou těchto dvou měření v nízkých otáčkách. Grafy se dále liší v hodnotách kolem 6000 ot/min. Test na válcové zkušebně byl prováděn do extrémních otáček (6300 ot/min) – jednalo se o maximální přípustné otáčky, další nárůst byl redukován omezovačem otáček. Test alternativní metodou byl prováděn šetrněji a to přesně do 6000 ot/min. Maximální výkon vozu se pohybuje mezi 5000-5500 ot/min a proto nebylo nutné provádět test do okamžiku, kdy dojde k elektronickému omezení otáček.

Tabulka 2 shrnuje průběhy v grafech 2 a 3. Pro tyto dva grafy lze tvrdit, že v rozmezí otáček 2000-6000 ot/min je směrodatná odchylka pro výkon 1PS a pro točivý moment 3,5 Nm. Vzorec pro výpočet směrodatné odchylky:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (19)$$

kde: n ... počet statisticky zpracovávaných prvků

x_i ... hodnota i -tého prvku

\bar{x} ... aritmetický průměr z počtu prvků (pro dané otáčky)

	Otáčky [1/min]	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
Válcová brzda	Mk [Nm]	89	95	102	102	99	94	91	84	74
	P [PS]	26	34	43	50	57	60	65	66	63
Metoda s induktivním snímačem	Mk [Nm]	96	100	101	100	99	97	93	85	81
	P [PS]	26	35	42	48	56	62	65	65	63
Směrodatné odchylky	smodch [Nm]	3,5	2,5	0,5	1	0	1,5	1	0,5	3,5
	smodch [PS]	0	0,5	0,5	1	0,5	1	0	0,5	0

Tab. 2 – Vyhodnocení grafu 2 a 3

5.4. Uplatnění měřící metody

Byl proveden hlubší rozbor měřící metody výkonu s využitím induktivního snímače otáček. Početní části určování požadovaných průběhů vypovídají o náročnosti metody na znalost konstrukce daného automobilu. Řada vstupních parametrů je velmi obtížně sehnatelná zejména pro některé typy vozů.

Uplatnění měřící metody tedy vidím více mezi nadšenci pro automobilový průmysl, kteří mají omezený finanční rozpočet a nemohou si dovést po každé úpravě motoru navštěvovat autorizované válcové zkušebny. Při měření relativního nárůstu výkonu a točivého momentu motoru po úpravě není potřeba zadávat zcela přesně vstupní parametry a lze je aproximovat z empirických vztahů. Další měření prováděné „za jinak stejných podmínek“ má porovnávací charakter. Samozřejmostí je použití stejného úseku k měření. Pro pokročilejší použití metody bych doporučoval vždy při testu měřit teplotu a relativní vlhkost vzduchu. Tyto parametry přímo ovlivňují chod spalovacího motoru.

Nejefektivnější využití metody, která vyžaduje minimum příprav je při výše uváděném postupu – při ladění motoru automobilu využívat tento test a po následném nalezení optimální kombinace úprav porovnat tyto průběhy s průběhy na válcové zkušebně.

Závěr

Měření výkonů spalovacích motorů patří mezi základní subjekty vozidlové diagnostiky. Nejnovější trendy zahrnují výkonovou diagnostiku prakticky online a je pouze otázkou času, kdy se prosadí do běžného provozu osobních vozů. Toto online monitorování motoru a jiných částí vozu může odhalovat poruchy dříve, než dojde k jakémukoliv důsledku této závady.

Předložená práce měla za úkol podat podrobný přehled o alternativní metodě měření výkonu a točivého momentu přímo v provozních podmínkách. V přehledu je zahrnutý kompletní výklad a postup měření. Jsou zde rozepsány a řešeny jednotlivé problémy, které mohou vzniknout v průběhu měření a výpočtů.

Součástí práce bylo měření na vybraných vozech. Nejpodrobněji byl analyzován vůz Hyundai Getz 1,1. Na tomto voze bylo prováděno měření na válcové zkušebně i měření popisovanou alternativní metodou. Dokázal jsem, že alternativní metoda se svými výsledky může blížit přesnosti válcové zkušebny. Ovšem pouze za velmi příznivých podmínek. Z toho důvodu vidím nejefektivnější využití metody v určování relativního nárůstu (poklesu) výkonu na upravovaném vozidle. Výhodou této metody jsou relativně nízké náklady na test a mobilní měřicí zařízení.

Seznam použité literatury

- [1] Diagnostika zážehových a vznětových motorů (Petr Janda a kolektiv) [online]. 2007, poslední revize 2007 [cit. 2009-03-17]. Dostupné z www: <<http://www.sosi.cz/texty/1i-diagnostika-spalovacich-motoru.pdf>>.
- [2] Server příznivců Škoda Auto [online]. 2008, poslední revize 15.10. 2008 [cit. 2009-03-21]. Dostupné z www: <<http://web.datriware.com/web.php?x=0200&item=350>>.
- [3] Server úprav a zkoušení motorů [online]. 2009, poslední revize 2009 [cit. 2009-03-29]. Dostupné z www: <<http://www.mereni-vykonu.cz/>>.
- [4] Chiptuning, diagnostika, autoservis [online]. 2009, poslední revize 2009 [cit. 2009-04-17]. Dostupné z www: <<http://www.dtcars-chiptuning.cz/>>.
- [5] Aplikace měření výkonu [online]. 2009 , poslední revize 2009 [cit. 2009-04-09]. Dostupné z www: <http://www.utes.cz/aplikace/1095333608-POM_automobil.pdf>.
- [6] Drive klub [online]. 2009, poslední revize 2009 [cit. 2009-04-17]. Dostupné z www: <<http://www.awdoc.cz/drupal/image/tid/40>>.
- [7] Metody měření provozních parametrů [online]. 2009, poslední revize 2009 [cit. 2009-04-09]. Dostupné z www: <http://tf.czu.cz/~PEXA/Predmety/TD/Prednasky/4p_TechDiag.pdf>.
- [8] Fórum o chiptuningu [online]. 2009, poslední revize 2009 [cit. 2009-04-17]. Dostupné z www: <<http://forum.mereni-vykonu.cz/viewtopic.php?f=1&t=215&sid=5e00828d458eb1b924f17c6aafe0af9f>>
- [9] Auto kasa [online]. 2009, poslední revize 2009 [cit. 2009-04-28]. Dostupné z www: <<http://auto.kasa.cz/hyundai/koupit/716528/getz/hyundai-getz-1-1/>>.
- [10] Mašek, Z.. *Programové řízení dynamometru pro zkoušení pohonu vozidel*. Pardubice, 2005. Diplomová práce na UPCE DFJP KEEZ.
- [11] Cibere, R.. *Porovnání jízdní brzděné zkoušky a zkoušky na válcové zkušební*. Pardubice, 2008. Bakalářská práce na UPCE DFJP KDPD.

Seznam obrázků

Obr. 1 – soustava motor-kolo-vířivá brzda s válcem.....	10
Obr. 2 – Válcová zkušebna	12
Obr. 3 – zkušebna pro statické výkonové zkoušky motorů	16
Obr. 4 – Elektrické schéma měřicího zařízení	18
Obr. 5 – Odkrytované měřicí zařízení.....	19
Obr. 6 – Měřicí řetězec	21
Obr. 7 – Zvukový editor.....	23
Obr. 8 – Detailní průběh impulsu	24
Obr. 9 – Obrázek okna analyzeru	25
Obr. 10 – Letištní dráha v Mimoňi	28
Obr. 11 – Uspořádání terénu	30
Obr. 12 – Detail uchycení snímače.....	32

Seznam grafů

Graf 1 – Výsledek výpočtu v MS Excel	27
Graf 1 – Výsledek testu na válcové zkušebně.....	36
Graf 2 – Výsledek testu měření s induktivním snímačem	36

Seznam tabulek

Tab. 1 – Výsledky testu jednoho vozidla na válcových zkušebnách..... 35

Tab. 2 – Vyhodnocení grafu 2 a 3 38