

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2009

PAVEL TRPÍK

**UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

**ZPŮSOBY A METODY MĚŘENÍ VÝKONU
PÍSTOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR:

Pavel Trpík

VEDOUCÍ PRÁCE:

Ing. Petr Jilek

2009

UNIVERSITY OF PARDUBICE
JAN PERNER TRANSPORT FACULTY

WAYS AND METHODS OF PISTON COMBUSTION
ENGINES POWER MEASURING

BACHELOR WORK

AUTHOR: Pavel Trpík
ACTING SUPERVISOR: Ing. Petr Jilek

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: **Pavel TRPÍK**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Způsoby a metody měření výkonu pístových spalovacích motorů**

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

1. Úvod 2. Výkon motoru a jeho vztah k dynamice vozidla 3. Způsoby měření výkonu motoru u silničních vozidel 4. Návrh metodiky zjišťování výkonových parametrů motoru 5. Zpracování a vyhodnocení výsledků experimentu 6. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Vlk, F.: **Dynamika motorových vozidel**. Brno 2000
2. Tesař, M.: **Teorie a konstrukce silničních vozidel I**. Pardubice 2003
3. Vlk, F.: **Automobilová technická příručka**. Brno 2003

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Jilek, DiS.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

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

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

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 6.května 2009

Pavel Trpík

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Petru Jilkovi za informace a připomínky, které mi poskytl během zpracovávání mé bakalářské práce. Velké poděkování patří také SOU SOŠ v Kyjově, které mi umožnilo bezplatné měření výkonu na výkonové stoličce Maha LPS 2000 a panu mistrovi Jiřímu Berkovi, který mi při měření odborně asistoval. Nakonec bych chtěl velmi poděkovat svým rodičům za trpělivost a podporu ve studiu.

V Pardubicích dne 6. května 2009

Pavel Trpík

RESUMÉ

Tato práce se zabývá základními metodami zjišťování výkonu spalovacího motoru. Na začátku je vysvětlena fyzikální podstata výkonu a točivého momentu. Dále je ve stručnosti vysvětlen princip fungování válcového dynamometru a motorové brzdy a jejich využití v automobilovém průmyslu. Do větší hloubky je zde objasněna činnost dynamometru na vířivé proudy. Při měření výkonu vozidla byla použita válcová zkušebna Maha typu LPS 2000 s vířivou brzdou.

Klíčová slova

Výkon, točivý moment, válcový dynamometr, motorová brzda,

SUMMARY

This work deals with basic methods of combustion engine power detection. The physical substance of power and turning moment is explained at the beginning. Further, there is briefly described principle of function of chassis dynamometer and engine dynamometer and their utilization in the automobile industry. The activity of the dynamometer on eddy current is clarified in bigger depth. During the car power measurement the roller testing bench Maha type LPS 2000 with eddy brake was used.

Keywords

Power, turning moment, chassis dynamometer, engine dynamometer

Obsah

ÚVOD	12
1 VÝKON MOTORU A JEHO VZTAH K DYNAMICE VOZIDLA	13
1.1 Fyzikální podstata	13
1.2 Charakteristika spalovacího motoru	13
1.2.1 Ukazatele vyjadřující vlastnosti vnější rychlostní charakteristiky	15
1.3 Využití výkonu motoru při diagnostice	16
2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ VÝKONU MOTORU U SILNIČNÍCH VOZIDEL	17
2.1 Možné rozdělení metod měření výkonu	17
2.2 Způsoby zatěžování při měření výkonu.....	17
2.2.1 Dynamická metoda	17
2.2.2 Statická metoda.....	18
2.2.2.1 Na konstantní otáčky	19
2.2.2.2 Na konstantní moment.....	19
2.2.3 Kombinovaná.....	19
3 NÁVRH METODIKY ZJIŠŤOVÁNÍ VÝKONOVÝCH PARAMETRŮ MOTORU	20
3.1 Motorová brzda.....	20
3.2 Válcová brzda	22
3.2.1 Účinnost přenosu výkonu mezi klikovou hřídelí a válcem při statické metodě	24
3.2.2.1 Ztráty závislé na přenášeném výkonu.....	25
3.2.2.2 Ztráty závislé na táčkách motoru.....	26
4 ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTU	27
4.1 Údaje o zvoleném vozidle.....	27
4.2 Parametry válcové výkonové zkušebny Maha LPS 2000.....	28
4.3 Příprava před měřením.....	28
4.4 Zjišťování potřebných veličin.....	29
4.5 Kontinuální měření (dynamické měření).....	30
4.6 Měření výkonu podle požadavků uživatele (statické měření)	32
4.7 Porovnání hodnot.....	33
5 ZÁVĚR	36
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	37
SEZNAM TABULEK	38

SEZNAM OBRÁZKŮ	39
SEZNAM PŘÍLOH.....	40

Úvod

Zjišťování vlastností motorových vozidel bylo, je a bude důležitou součástí při vývoji nových pohonných jednotek, ale i při jejich pozdějším diagnostikování během oprav, čím dál častějších úpravách motorů souvisejících s tuningem a čip tuningem a pro sportovní účely. Princip spočívá v měření brzdného momentu, který známe (nebo jsme schopni jej měřit) a který působí proti neznámému točivému momentu motoru.

V minulosti se jako zdroje zatěžovacího momentu používaly mechanické třecí brzdy. Později byly tyto brzdy nahrazeny hydraulickými zatěžovacími stavky a současně také elektrickými brzdami, které se začaly označovat jako dynamometry. V současnosti se používají asynchronní motory a také motory pracující na principu vířivých proudů, tzv. vířivé dynamometry. Vířivý dynamometr neumožňuje rekuperaci energie, proto tento typ dynamometru lze použít jen k brzdění.

Bakalářská práce se zabývá měřením výkonu na různých zkušebních stavech a při různých režimech zatěžování. Cílem této práce je poskytnout ucelený text pro pochopení problematiky měření výkonu vozidlových spalovacích motorů, jak přímo na vozidle, tak i mimo něj. Jsou zde uvedeny i základní vztahy související s výkonem a momentem motoru.

V praktické části je provedeno měření výkonových parametrů vozidla Seat Leon 1.8T 20V. Hodnoty jsou mezi sebou porovnány, aby vynikl rozdíl mezi jednotlivými použitými metodami a hodnotami udávanými výrobcem vozidla.

1 Výkon motoru a jeho vztah k dynamice vozidla

1.1 Fyzikální podstata

James Watt definoval výkon jako práci, která je provedena za jednotku času, a jeho jednotkou je Watt. Uvedený vztah pro výkon je jen základní, ale v této práci se s ním ještě budeme setkávat v různých úpravách.

$$P = \frac{W}{t} \quad (1)$$

*P – výkon [W], W – práce [J]
t – čas [s]*

Jestliže se tedy působí na dané těleso velkou silou, která s daným tělesem nepohne, nevykoná se žádná práce a tudíž je i výkon nulový. Z toho plyne, jestliže se udělá nějaká práce rychleji, bude i vyšší výkon.

Další pojem, který se použít v práci, je točivý moment. Točivý moment je síla využitá na to, aby svým působením na určité délce ramene rotovala s daným předmětem. Jednotkou točivého momentu je Newtonmetr.

$$M_t = F \cdot r \quad (2)$$

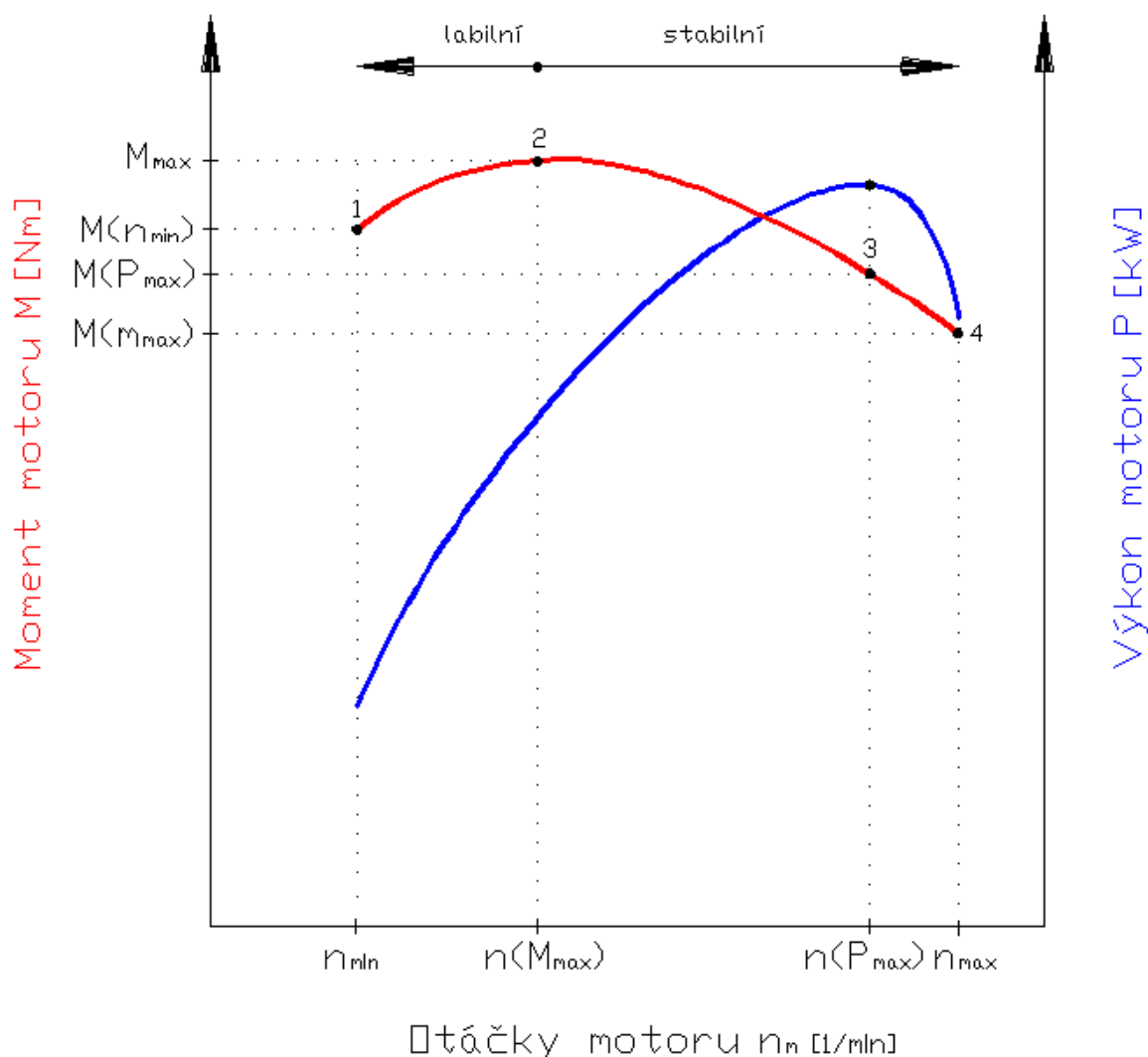
*M_t – točivý moment [Nm], F – síla [N]
r – rameno [m]*

Tyto vztahy jsou pro problematiku měření výkonu velmi zjednodušené, ale v dalším textu se budou různými úpravami obměňovat.

1.2 Charakteristika spalovacího motoru

V automobilu je nejvíce rozšířenou pohonnou jednotkou spalovací motor. Ten je buď zážehový nebo vznětový. Při výpočtech hnacích sil nebo výkonu na kolech se vychází z vnější rychlostní charakteristiky pořízené při plném zatížení spalovacího motoru na zkušební brzdě.

Průběh točivého momentu motoru v závislosti na otáčkách motoru je charakterizován několika body viz Obr. 1.



1 - Moment motoru při minimálních otáčkách, 2 - Maximální moment motoru,
3 - Moment motoru při maximálním výkonu, 4 - moment motoru při maximálních otáčkách

Obr.1: Vnější charakteristika spalovacího motoru

Pro motor je výhodné, aby pracoval co nejdéle ve stabilní oblasti motoru. Tedy od takových otáček, kdy motor disponuje maximálním momentem, až po maximální otáčky motoru, jelikož v této oblasti při poklesu otáček motoru se zvyšuje moment motoru. To však platí jen po docílení otáček při maximálním momentu, pak již moment klesá. Oblasti od maximálního momentu motoru po moment při minimálních otáčkách se říká labilní oblast motoru. Otáčky, při nichž je moment motoru minimální, mají větší hodnotu než otáčky volnoběžné, proto se nesmějí navzájem zaměňovat.

1.2.1 Ukazatelé vyjadřující vlastnosti vnější rychlostní charakteristiky

V automobilech se mohou vyskytovat motory nepružné, málo pružné, normální, velmi pružné a vysoce pružné. Pružnost motoru je tedy měřítkem schopnosti motoru pracovat co nejdéle ve stabilní oblasti momentové charakteristiky.

a) momentová pružnost

$$e_M = \frac{M_{\max}}{M(P_{\max})} \quad (3)$$

e_M – momentová pružnost [-], M_{\max} – maximální moment [Nm]
 $M(P_{\max})$ – moment při maximálním výkonu [Nm]

pro zážehové motory $e_M = 1,07 - 1,50$

pro vznětové motory $e_M = 1,03 - 1,35$

b) otáčková pružnost

$$e_n = \frac{n(P_{\max})}{n(M_{\max})} \quad (4)$$

e_n – otáčková pružnost [-], $n(P_{\max})$ – otáčky při maximálním výkonu [n/min^{-1}]
 $n(M_{\max})$ – otáčky při maximálním momentu [n/min^{-1}]

pro zážehové motory $e_n = 1,50 - 3,5$

pro vznětové motory $e_n = 1,3 - 2,0$

c) celková pružnost motoru

$$e_m = e_M + e_n \quad (5)$$

e_m – celková pružnost [-], e_M – momentová pružnost [-]
 e_n – otáčková pružnost [-]

pro zážehové motory $e_m = 1,6 - 5,25$

pro vznětové motory $e_m = 1,34 - 2,7$

1.3 Využití výkonu motoru při diagnostice

Z hlediska diagnostiky patří výkon celého motoru mezi základní ukazatele správného technického stavu motoru vozidla. Výkon na jednotlivých válcích slouží pro diagnózu těchto válců.

Ztráta výkonu motoru signalizuje, že je motor buď opotřebený nebo že nefunguje, případně nefungují správně některé soustavy, které jsou nezbytné pro správný chod motoru. Při naměření určité hodnoty výkonu není možné se spokojit jen s její hodnotou, ale je nutné se zajímat, s jakými nežádoucími vedlejšími důsledky bylo daného výkonu dosaženo. Mezi tyto vedlejší vlivy patří zejména emise, které hrají v ekologii čím dál větší roli, měrná spotřeba, ale například i hluk, životnost aj.

Jelikož se jednotlivé válce podílí na celkovém výkonu motoru anonymně, nemůže se tedy z naměřeného sníženého výkonu celého motoru určit, který válec by mohl být nositelem poruchy. Poněvadž snížený výkon jednoho válce nemusí být vždy odhalen při měření celého motoru, je dobré měřit válce jednotlivě. Např. je-li čtyřválcový motor o výkonu 100 kW a zjistí se pokles o 2 kW, znamená to, že celkový výkon se snížil pouze o dvě procenta. Bude-li se však měřit výkony na jednotlivých válcích, tak se může zjistit, že na jednom válci došlo k poklesu z děleného výkonu 25 kW, na naměřených 23 kW, což již činí ztrátu osm procent. Toto konstatování je již závažnější, neboť porucha jednoho válce může postupně vést k havárii celého motoru.

Po změření výkonu a zjištění průběhu křivky kroutícího momentu a výkonu můžeme zjistit díky tvaru křivek různé anomálie v chodu motoru. Dále lze odhalit nesprávnou dodávku paliva, jen přibližně bohatost směsi, protože motor je jinak závislý na ohřátí při bohaté a jinak při chudé směsi. Také lze jejich pomocí rozpoznat vynechávající zapalování, špatnou činnost turbodmyhadla, prokluz kola a jiné. Je ovšem důležité si uvědomit, že většinu těchto poruch lze v praxi snadněji zjišťovat při použití jiných diagnostických přístrojů, např. osciloskopem.

2 Způsoby měření výkonu motoru u silničních vozidel

2.1 Možné rozdělení metod měření výkonu

Metody přímé:

- a) měření výkonu pomocí motorové brzdy
- b) měření výkonu na válcových zkušebnách
- c) měření výkonu pomocí snímání spalovacího tlaku ve válcích
- d) snímání točivého momentu na výstupu motoru

Metody nepřímé:

- a) měření úhlového zrychlení a zpomalení motoru
- b) stanovení výkonu pomocí metody odpojování válců

2.2 Způsoby zatěžování při měření výkonu

2.2.1 Dynamická metoda

Tato metoda slouží pro vykreslení křivek výkonu a momentu v závislosti na otáčkách. Její výhodou je časová nenáročnost, z čehož plyne, že motor není oproti statické zkoušce tak tepelně a mechanicky zatěžován. Při dynamickém měření výkonu klade zařízení brzdy odpor roztáčejícím se součástí. Zkušební zařízení brzdy má již od výrobce přesně stanovené momenty setrvačnosti. Co však známo není je moment setrvačnosti motoru či celé soustavy (motor, převodové ústrojí, kolo), kterou již nejsme schopni přesně změřit. Tato hodnota se ale musí zadat do programu počítače co nejpřesněji. Přesně lze tuto hodnotu zjistit laboratorním měřením za pomoci doběhové zkoušky. Další způsob je měřením ztrát v převodech. Hodnoty momentů setrvačnosti jsou uvedeny v tabulce číslo 1. Při opakovaném měření stejného motoru je důležité, aby se do programu počítače zadala stejná hodnota jako při předešlém měření, jinak by docházelo k nesmyslným výsledkům. Jestliže tato hodnota není přesně známa, je celé měření nepřesné a zkouška má pak spíše jen informativní nebo porovnávací charakter.

Výkon je vypočten dle vztahů:

$$P = J \cdot \varepsilon \quad (6)$$

*P – výkon [kW], J – moment setrvačnosti [kgm²]
 ε – úhlové zrychlení [rad.s⁻²]*

$$P = M_t \cdot \omega \quad (7)$$

*P – výkon [kW], M_t – točivý moment [Nm]
 ω – úhlová rychlost [rad.s⁻¹]*

Typ motoru	Objem motoru v [cm ³]	Moment setrvačnosti [kg.m ²]
Zážehový	do 750	0,20
	751 – 1200	0,30
	1201 – 1500	0,50
	1501 – 2000	0,60
	2001 – 3000	0,70
	nad 3000	0,8
Vznětový	do 750	0,35
	751 – 1200	0,50
	1201 – 1500	0,65
	1501 – 2000	0,75
	2001 – 3000	0,85
	nad 3000	0,95

Tab.1 Momenty setrvačnosti rotujících dílů motoru vztažené ke klikovému hřídeli [6]

2.2.2 Statická metoda

Druhou z používaných metod je metoda statická, která již není závislá na momentu setrvačnosti, jak je tomu u zkoušky dynamické. Vše je založeno na měření síly působící na určitém rameni při brzdění válce. Brzdný moment je vytvářen elektromotorem brzdy. Motor je brzděním udržován v konstantních otáčkách. Tato metoda je oproti dynamické přesnější a dochází při ní k lepšímu prohřevu motoru.

Při použití této metody se zjišťují momentální hodnoty výkonu a momentu v určitých předem stanovených bodech. Je výhodné, když se mohou porovnat výsledky ze statické a dynamické zkoušky, jelikož se dá ověřit správnost zadaného momentu setrvačnosti vkládaného při dynamické zkoušce.

2.2.2.1 Na konstantní otáčky

Otáčky motoru se díky regulaci udržují na konstantní hodnotě nezávisle na zatěžovacím momentu vytvářeném zkoušeným motorem. Tento druh regulace se hojně využívá pro statické měření výkonových charakteristik.

2.2.2.2 Na konstantní moment

Zatěžovací moment dynamometru je udržován na konstantní hodnotě nezávisle na otáčkách. Tento druh regulace je možno využít při simulaci jízdy vozidla a je možné ji ještě využít při dynamické akcelerační zkoušce.

2.2.3 Kombinovaná

Při kombinované metodě se měří dynamickým způsobem, ale s tím rozdílem, že válec se přibrzdí. Tím dojde k lepšímu prohřátí motoru a výsledky měření jsou přesnější.

3 Návrh metodiky zjišťování výkonových parametrů motoru

3.1 Motorová brzda

Motorová brzda je zařízení, kterého se spíše využívá k laboratornímu měření výkonu motoru. Motorová brzda je zařízení velice přesné, ale mezi její nevýhody patří skutečnost, že motor, který chceme měřit, musíme demontovat z vozidla. Následně ho musíme nechat při spuštění zahřát na provozní teplotu a po ukončení měření jej opět do automobilu namontovat. Z toho plyne časová, ale i finanční náročnost této metody.

Toto zařízení neměří přímo výkon motoru, nýbrž točivý moment motoru, který se zde maří, a současně se snímají otáčky motoru. Snímání momentu je založeno na vážení reakce výkyvného statoru. Následně se vypočítává efektivní výkon motoru, jenž se ještě přepočítá na atmosférický tlak a teplotu 25 °C. Tomuto přepočtu se říká tzv. korekce výsledných hodnot. Takto přepočtený výkon motoru udává výrobce automobilu jako základní hodnotu výkonu v technických údajích o vozidle. Vypočtený výkon je čistý výkon demontovaného motoru. Nejčastěji se používají rotační vodní brzdy a elektrické točivé stroje.



Obr.2: Motorová brzda pro měření výkonu [7]



Obr.3: Motorová brzda s řídicím stanovištěm [9]

Na obrázku číslo tři je motorová brzda SuperFlow s hydrodynamickou brzdou jenž používá firma Tommü tuning. Zařízení umožňuje měřit výkon 750 kW při 12000 otáčkách za minutu.

Nenahraditelné je využití motorové brzdy společně s jednotkou na měření objemového průtoku paliva a dalších přídatných zařízení při vývoji nových motorů. Dále se využívá pro získávání potřebných hodnot k programování nových řídicích jednotek nebo také k homologačnímu měření.

Vzorec pro výpočet výkonu zjištěný na motorové brzdě:

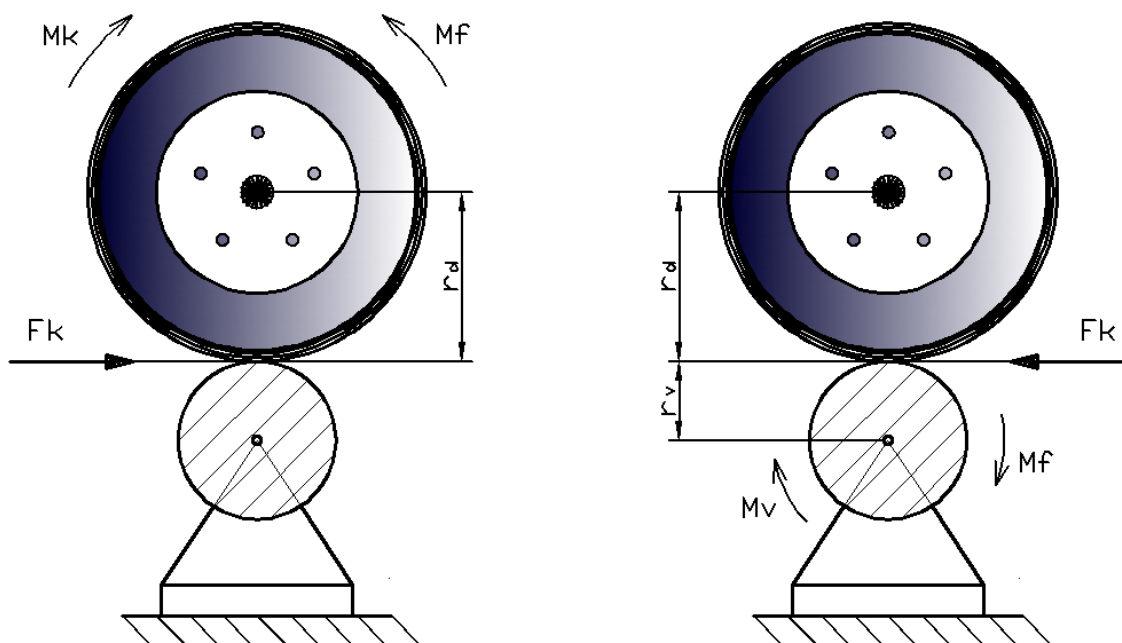
$$P_e = \frac{M_t \cdot n}{9549,3} \quad (8)$$

P_e – efektivní výkon motoru [kW], M_t – točivý moment motoru [Nm], n – otáčky motoru [n/min]
 9549,3 ... konstanta vzniklá přepočtem z úhlové rychlosti na otáčky za minutu

3.2 Válcová brzda

Válcová brzda slouží k měření výkonu motoru, aniž by se musel motor z vozidla demontovat. To je z časových a ekonomických hledisek při diagnostice automobilů velice výhodné. Naměřený výkon motoru je ovlivněn odporem převodového ústrojí, rotační hmotou kol a dalšími zařízeními, které jsou k motoru připojeny.

Spalovací motor přenáší svůj výkon přes převodová ústrojí přímo na poháněná kola automobilu. Vlivem tření mezi koly a válci se válce roztáčí. Tyto válce mají přesně definovaný moment setrvačnosti. K jednomu z válců je připojeno zařízení, které otáčejícím se kolům (nebo kolu u jednostopých vozidel) klade odpor. Tento odpor může být vyvozován vířivou, hydraulickou, anebo elektrickou brzdou s regulovatelným účinkem. Daný brzdný moment M_b válce vyvolá stejně velký reakční moment na hnacím kole, ale s opačným směrem.



M_k – hnací moment na kolech, M_v – moment na válcích, M_f – moment valivého odporu
 F_k – velikost hnací síly na kole, r_d – dynamický poloměr kola, r_v – poloměr válce

Obr.4: Momenty působící vzhledem k hnacímu kolu a vzhledem ke zkušebnímu válci

Rovnice rovnováhy momentů vzhledem k ose otáčejícího se kola má tvar:

$$M_k - M_f - F_k \cdot r_d = 0 \quad (9)$$

M_k – hnací moment na kolech [Nm], M_f – moment valivého odporu [Nm]
 F_k – velikost hnací síly na kole [N], r_d – dynamický poloměr kola [m]

Rovnice rovnováhy momentů vzhledem k ose měřících válců má tvar:

$$M_v + M_f - F_k \cdot r_d = 0 \quad (10)$$

M_v – moment na válcích [Nm], M_f – moment valivého odporu [Nm]
 F_k – velikost hnací síly na kole [N], r_d – dynamický poloměr kola [m]

Moment na válcích vyjadřuje nejen brzdící moment ale je v něm zahrnut třecí moment působící v ložiscích a odpor vzduchu.

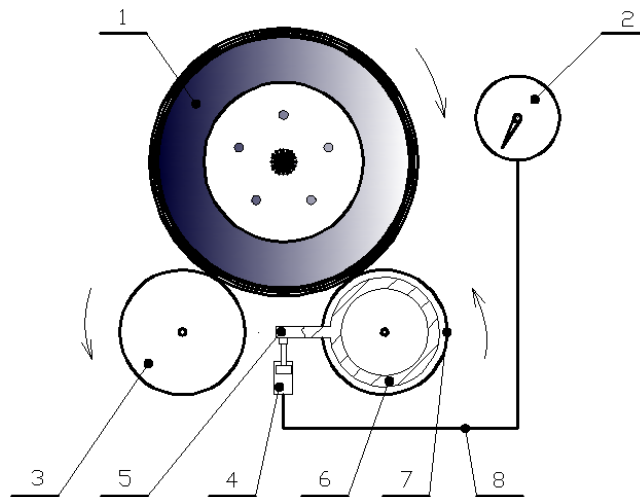
Tento reakční moment se přenáší přes stator na zařízení, které umí změřit obvodovou sílu na tomto kole. Dále se opět snímají otáčky kola a z těchto dvou veličin se již vypočítá výkon na kolech.

$$M_k = F_k \cdot r_d \quad (11)$$

M_k – moment přiváděný na hnací kola [Nm], F_k – síla na obvodu hnacího kola [N]
 r_d – dynamický poloměr hnacího kola [m]

$$P_k = F_k \cdot v \quad (12)$$

P_k – výkon na hnacích kolech [kW], F_k – síla na obvodu hnacího kola [N]
 v – obvodová rychlost kola [ms⁻¹]

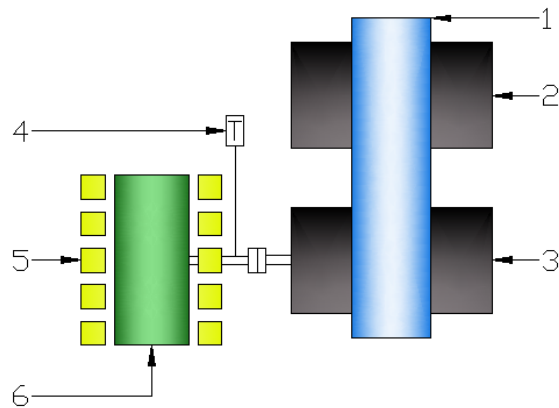


1 - hnací kolo automobilu, 2 - ukazatel síly

3 - podpěrný válec, 4 - tenzometrický snímač, 5 - rameno, 6 - stator

7 - měřící válec, 8 - spojovací kabely

Obr.5: Výkonová válcová zkušebna s vířivou brzdou



1 - hnací kolo, 2 - podpěrný válec, 3 - měřicí válec
4 - tenzometrický snímač 5 – cívky, 6 - válec na víření proudu

Obr.6: Výkonová válcová zkušebna s vířivou brzdou z půdorysu

3.2.1 Účinnost přenosu výkonu mezi klikovou hřídelí a válcem při statické metodě

Při přenosu výkonu dochází ke ztrátám, se kterými se musí počítat, abychom si mohli vyjádřit výkon samotného motoru.

Celková účinnost přenášeného výkonu se stanoví následovně:

$$\eta_c = 100 - (A + B + C + D) \quad (13)$$

η_c – celková účinnost přenášeného výkonu [%], A - ztráta v primárním převodu (převod mezi klikovou hřídelí a převodovkou) [%], B - výkonová ztráta v převodovce [%], C - výkonová ztráta v rozvodovém soukolí [%], D - výkonová ztráta mezi náhonovým soukolím a válci brzdy[%]

Parametr	Konstrukční provedení	Ztráty výkonu [%]
A	Přímé propojení	0
	Ozubeným soukolím, spojka suchá	3
	Ozubeným soukolím, spojka mokrá	4
	Válečkovým řetězem v olejové lázni, spojka suchá	4
	Válečkovým řetězem v olejové lázni, spojka mokrá	5
	Volným válečkovým řetězem, spojka suchá	4
B	Postupová převodovka, kola na jehlách	3
	Postupová převodovka, kola kluzně uložena	4
	Postupová převodovka, řazení klínem	4
	Předlohová převodovka, nižší stupně	6
	Předlohová převodovka, přímý záběr	2
	Řetězová převodovka	4
C	Diferenciál s kuželovým soukolím	4
	Diferenciál se šikmým ozubením	4
	Diferenciál s rovným ozubením	3
	Pokud má vozidlo kardanový hřídel	10
D	Pneu slick	4
	Běžná cestovní pneumatika	5

Tab.2 Procentuální ztráty při přenosu výkonu [6]

3.2.2.1 Ztráty závislé na přenášeném výkonu

Tyto ztráty jsou způsobeny třením v ložiscích a v ozubených kolech. Ztráty jsou vyjádřeny v procentech v tabulce č. 3.

Uspořádání hnacího ústrojí	Ztráty výkonu v [%]
Přední pohon	4 - 8
Motor vpředu, zadní náhon	6 - 14
Motor vzadu, zadní náhon	4 - 7

Tab.3 Přehled ztrát dle koncepce automobilu [6]

3.2.2.2 Ztráty závislé na táčkách motoru

Do těchto ztrát patří např. aerodynamické ztráty v kolech, brodění ozubených kol převodovky v olejové lázni aj..



Obr.7: Výkonová válcová zkušebna pro nákladní automobily [10]

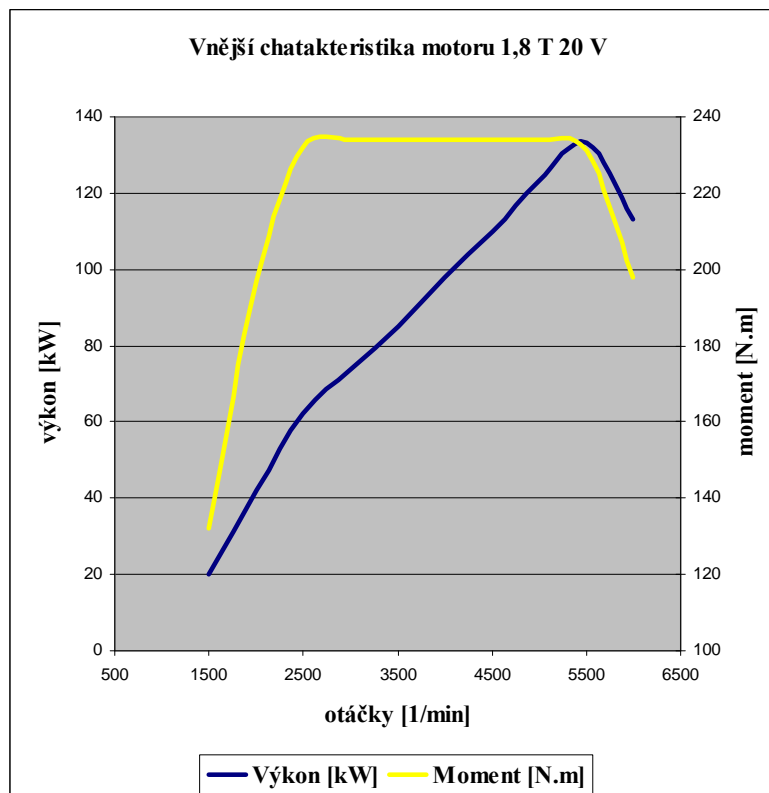
4 Zpracování a vyhodnocení výsledků experimentu

Při měření výkonu bylo použito zařízení od firmy MAHA Consulting s.r.o. typu LPS 2000. Tato zkušební stanice používá pro svou činnost vířivou brzdou, která má oproti hydrodynamické brzdě o stejném výkonu větší rozsah otáček. Tato vířivá brzda neumí, tak jako elektrická, pohánět kola, ale pouze je zatěžovat brzdícím momentem.

4.1 Údaje o zvoleném vozidle

Název modelu	Seat Leon	Druh motoru	řadový čtyřválec 1,8 T 20 V
Kategorie	Hatchback	Točivý moment	235 N.m při 1950 otáčkách
Rozměr pneu	205/55 R 16 W	Výkon motoru	132 kW při 5500 otáčkách
Poháněná náprava	přední	Počet rychlostí	6 manuál
Max. rychlost	228 km/h	Hmotnost	1363 kg

Tab.4 Údaje o zvoleném vozidle



Obr.8: Vnější charakteristika motoru udávaná výrobcem

4.2 Parametry válcové výkonové zkušebny Maha LPS 2000

Mechanika válců R100	
zatížení nápravy	2500 kg
délka válce	750 mm
minimální šířka stopy	800 mm
maximální šířka stopy	2300 mm
minimální testovaný průměr kola	12"
průměr válce	318 mm
vzdálenost mezi osami válců	457/500/565 mm
zvedání desky	pneumaticky min.0,5 MPa
maximální rychlost	260 km/h
Elektrické vybavení	
brzdy s elektricky vířivými proudy	200 kW a 400 kW
měřicí systém	tenzometrický systém
napájení	230 V / 50 Hz
Rozsah displeje	
testovací rychlost	max. 300 km/h
výkon kol	max. 200 kW a 400 kW
tažná síla	max. 6 kN
přesnost měření	konečná hodnota výkonu kol $\pm 2\%$ naměřené hodnoty

Tab.5 Parametry válcové zkušebny

4.3 Příprava před měřením

Před samotným měřením se musí dodržet tyto pokyny a bezpečnostní opatření:

- na hnací nápravě musí být použity předepsané pneumatiky o předepsaném tlaku
- demontují se poklice, pokud nejsou připevněny na šroubech kol
- provede se kontrola upevnění vyvažovacích závaží
- vozidlo se pomocí ukotvovacích pásů přitáhne k válcům zkušebny
- zadní kola se zajistí klíny a zatáhne se ruční brzda
- nasadí se odsávací potrubí
- připojí se snímač otáček
- zajistí se přívod chladícího vzduchu



Obr.9: Ukotvení zkoušeného vozidla na válcích

4.4 Zjišťování potřebných veličin

Před samotným měřením se musí zjistit nejprve převodový poměr. Ten se zjišťuje tak, že se v jednom okamžiku změří otáčky motoru a válce dynamometru. Jejich poměr je právě poměr převodový. Tento poměr nebylo nutné zadávat, jelikož se automaticky načte programem pro měření výkonu motoru. Ke snímání otáček motoru byly použity samosvěrné indukční kleště.



Obr.10: Kleště ke zjišťování otáček motoru

Další veličinu, kterou bylo potřeba zjistit byl moment setrvačnosti. Ten se opět zjišťuje automaticky pomocí doběhové zkoušky. Princip spočívá v tom, že se motor vytočí a při předepsaném rychlostním stupni se vyšlápne spojka. Přitom se měří čas do úplného zastavení po určitých časových krocích. Následně je moment setrvačnosti automaticky vypočten a uložen do paměti válcové zkušebny.

Zkušebna má dva páry válců, z nichž válec vlevo upravený šopováním je měřicí, což znamená, že je připojen k tělesu brzdy, a válec napravo upravený svrchním lakovaným nátěrem je podpěrný.

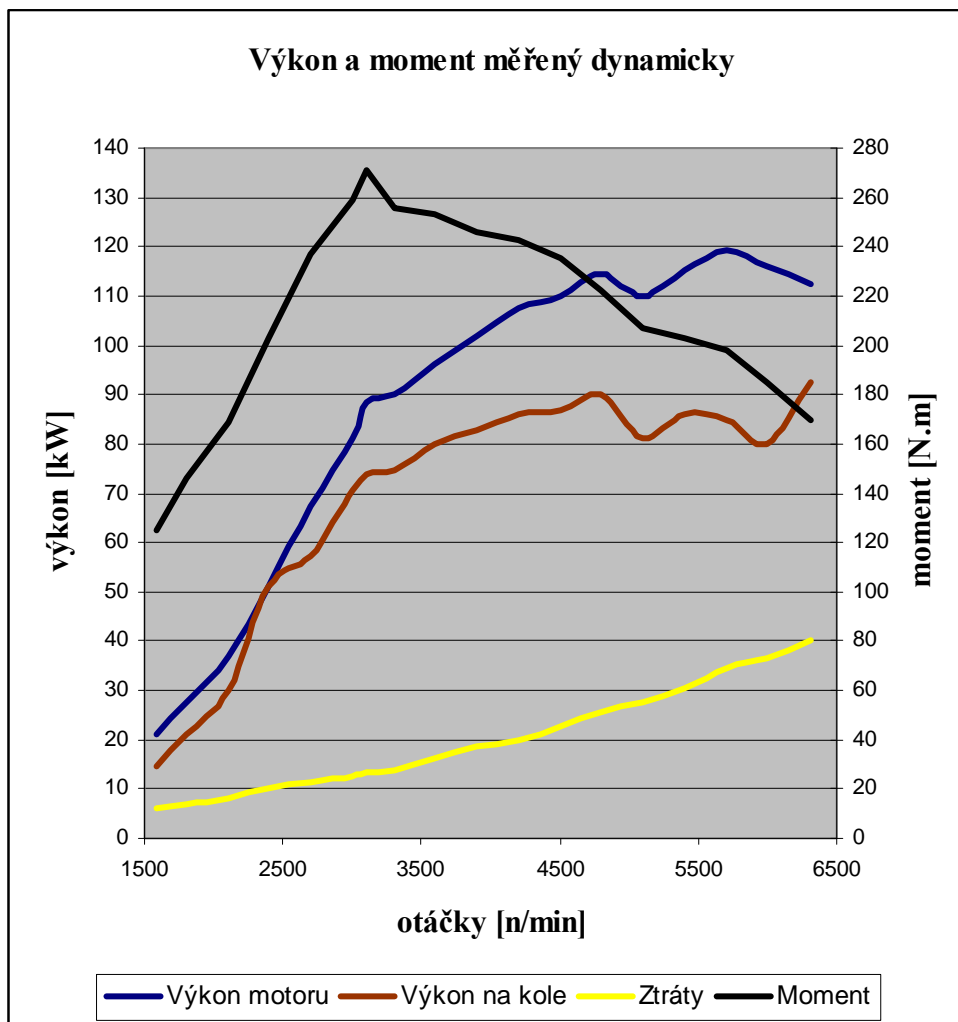


Obr.11: Detail kola na válcích

4.5 Kontinuální měření (dynamické měření)

Po vyplnění potřebných údajů o vozidle a nastavení rozsahu displeje se začne postupným řazením rozjíždět vozidlo až na předposlední rychlostní stupeň. V tomto případě to bylo až na pátý rychlostní stupeň. Během fází postupného řazení se muselo dbát na to, aby se během řazení na vyšší rychlostní stupně nezrychlilo o více než 50 km/h, jinak by vlastní měření začalo již dříve. Po zařazení pátého rychlostního stupně se postupně vytočil motor do maximálních otáček. Po jejich docílení se vyšlápala spojka a povolil pedál

akcelerátoru. Zmínil bych časovou nenáročnost, jelikož samotná příprava s následnou zkouškou netrvala ani deset minut. Výsledky testu byly korigovány dle normy DIN 70020. Pro lepší přehlednost jsou naměřené údaje zpracovány v následujících grafech.



Obr.12: Grafické zpracování hodnot dynamického měření

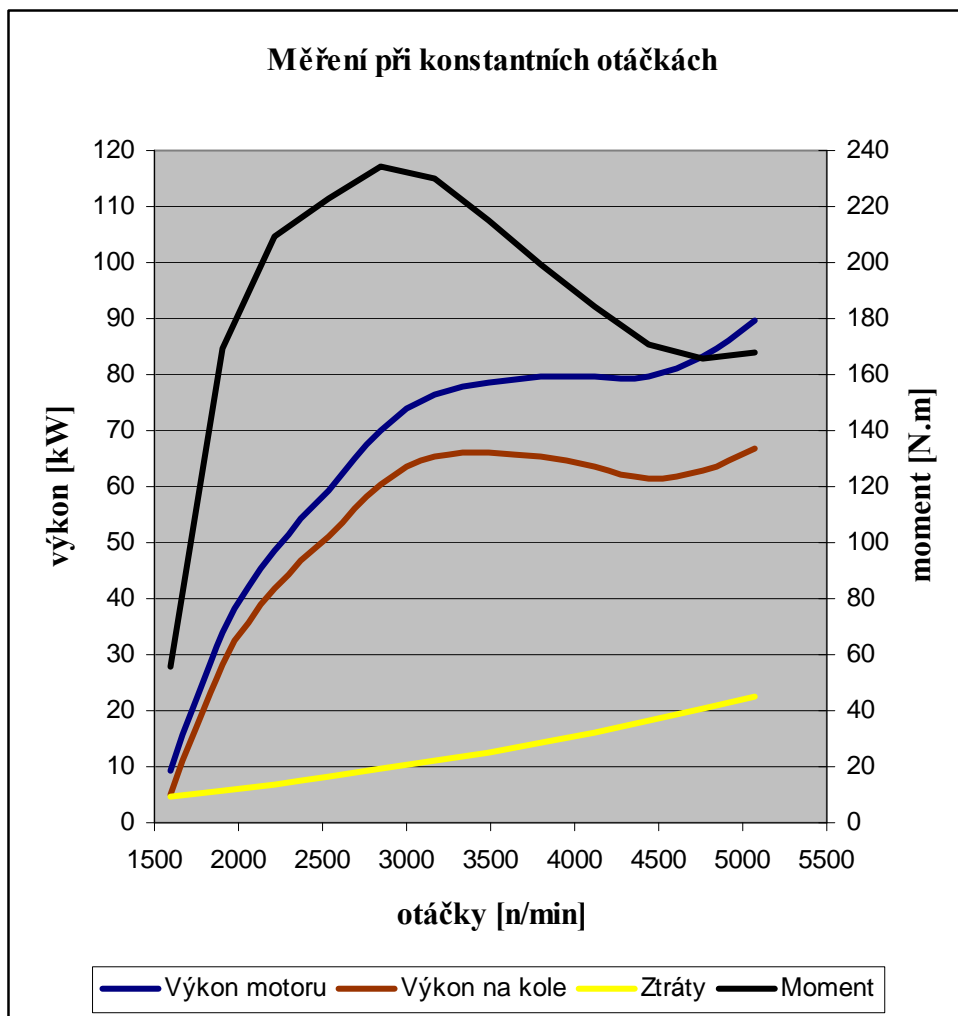
4.6 Měření výkonu podle požadavků uživatele (statické měření)

Před samotným měřením se muselo předdefinovat jestli výstupní hodnoty budou závislé na rychlosti vozidla nebo na otáčkách motoru. V tomto případě je použita závislost na rychlosti vozidla. Testovací rychlost byla nastavena od 50 do 160 km/h s odstupem po 10 km/h. Testovací doba byla delší a to pět sekund, jelikož automobil disponoval turbodmychadlem. To mívá tendenci reagovat s určitým zpožděním, které závisí na vyspělosti konstrukce. Po dobu testování udržuje dynamometr s elektrickými vířivými proudy dosaženou konstantní rychlost nebo konstantní počet otáček. Po změření se hodnota uloží a vířivá brzda se uvolní. Takto se postupuje až do poslední předdefinované hodnoty rychlosti a pak se vyšlápne spojka.

Rozdíl oproti dynamickému měření spočívá v tom, že setrvačné hmoty vozidla neovlivňují výsledné naměřené hodnoty. Současně při měření ve statickém měření dojde k výraznějšímu prohřátí spalovacího prostoru a tím může dojít ke vzniku detonačního spalování. Aby tomuto nepříznivému jevu bylo zabráněno, tak řídicí jednotka postupně snižuje předstih zážehu. Tímto opatřením dojde k částečnému snížení výkonu motoru.

výkon motoru [kW]	výkon na kole [kW]	ztráty [kW]	otáčky [1/mi]	rychlost [km/h]	moment [N.m]
9,4	4,9	4,5	1590	50	56
33,8	28,1	5,7	1900	60	169
48,7	41,8	6,9	2220	70	209
59,4	51,1	8,3	2540	80	223
70,1	60,5	9,6	2850	90	234
76,4	65,3	11,1	3170	100	230
78,6	66,1	12,5	3490	110	215
79,6	65,4	14,2	3800	120	199
79,5	63,4	16,1	4120	130	184
79,6	61,4	18,2	4440	140	171
83,1	62,8	20,3	4760	150	166
89,5	66,9	22,6	5070	160	168

Tab.6 Hodnoty zjištěné při statické metodě při konstantní rychlosti



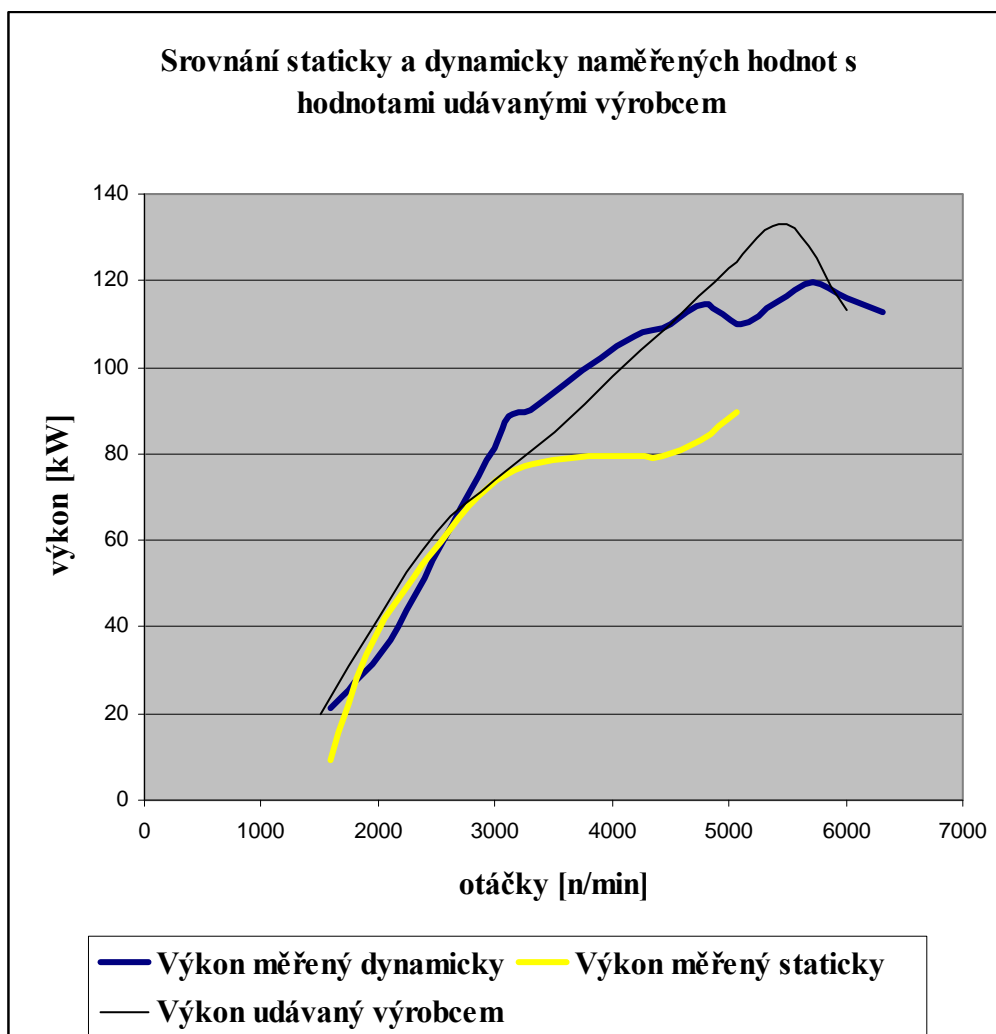
Obr.13: Grafické zpracování hodnot statického měření

Graf na Obr.13 se skládá z jednotlivých úseček, které spojují body ve kterých došlo k měření.

4.7 Porovnání hodnot

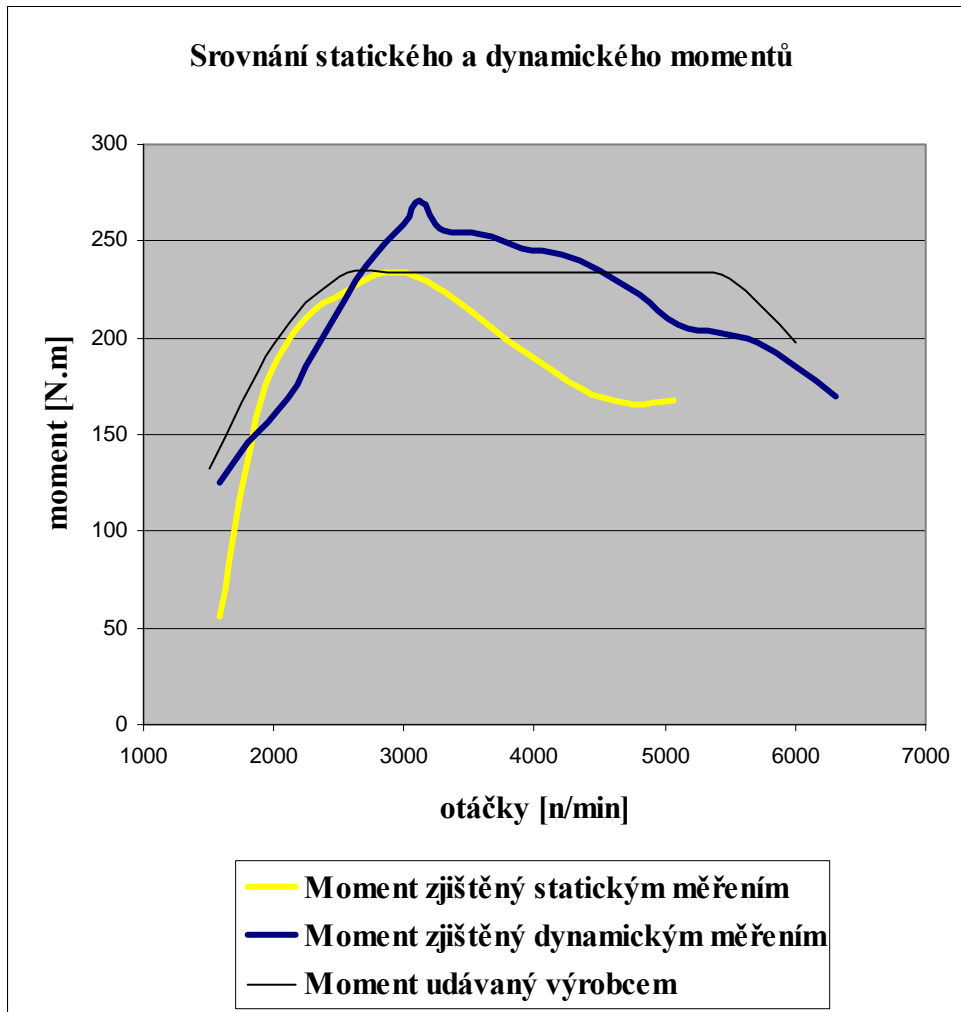
Porovnáním hodnot statického měření (při konstantních otáčkách) a dynamického (kontinuálního) měření vyplývají zřetelné rozdíly nejen v naměřených hodnotách výkonu, ale i momentu. Hodnoty změřené v dynamickém režimu zatěžování dosahují vyšších hodnot při vyšších otáčkách oproti první metodě. Ale při otáčkách do 2500 n/min dosahuje výkon motoru nižších hodnot. Rozdílnost naměřených hodnot plyne ze samotného principu obou měření, jelikož při dynamickém měření se procesy probíhající v motoru nedokáží ustálit. Do celého procesu zasahuje elektronika motoru např. tvorba

emisí. V každém případě by se dynamické měření nemělo ztracovat, jelikož skutečné děje probíhající v motoru jsou převážně dynamické povahy (rozjezd, předjíždění aj.).



Obr.14: Grafické porovnání naměřených hodnot výkonu

Z porovnání hodnot na Obr. 14 je patrný propad výkonu, který byl pouze 119,5 kW, oproti udávanému výkonu od výrobce, který činí 132 kW. Většinou se u automobilů změní buď výkon deklarovaný nebo vyšší. Zde tomu bylo jinak. Propad výkonu je nejvýraznější při otáčkách v rozmezí od 4700 do 5700 n/min. Kdyby zde propad nebyl, dalo by se usuzovat, že by motor deklarovaného výkonu mohl dosáhnout. Snížený výkon může být způsoben celkově špatným stavem motoru, ale přichází v úvahu i špatná funkce turbodmychadla ve vysokých otáčkách.



Obr.15: Grafické porovnání naměřených hodnot momentu

Grafy pořízené při dynamickém měření by měly mít podobný průběh výkonu a momentu jako u vnější charakteristiky motoru. Tu udává výrobce, který ji zjišťuje při měření motoru na motorové brzdě při statickém zatížení. Graf zjištěný při dynamickém měření se značně liší hlavně v pořízené momentové křivce, kde nedrží konstantní hodnotu, ale po docílení momentové špičky relativně rychle klesá.

5 Závěr

Na závěr bych chtěl říci, že výkon vozidlového motoru se zjišťuje při rotačním pohybu při měření točivého momentu a otáček. Samotné měření výkonu má smysl hlavně při měření výkonu po různých konstrukčních úpravách motoru (tuning), ke zjištění technického stavu motoru a nebo pro zjišťování závad, které se projevují při jízdě, nebo jiných případech. Změření výkonu vozidla by se mohlo doporučit také majitelům sportovně laděných vozů po jejich zajetí, kdy se může získat graf výkonu a momentu vozidla, což by byl dobrý srovnávací ukazatel o zhoršujícím se stavu motoru při pozdějších opakovávaných měření nebo jeho odchylek.

Metod na měření výkonu motoru je poměrně hodně a stále se vyvíjejí další. Nepřímé metody nedosahují takové přesnosti jako přímé (např. metoda s využitím motorové brzdy), rozdíl je však malý. Při opakovaném měření mě totiž nemusí zajímat absolutní hodnota, ale spíše odchylka od posledního měření a proto jsou i nepřímé metody vyhovující.

Při porovnání hodnot naměřených během vlastního experimentu s hodnotami udávanými výrobcem mě překvapila jejich rozdílnost. Bylo to z toho důvodu, že vozidlo bylo v nedávné době čipováno na vyšší výkon. Ovšem tento zvýšený výkon zde naměřen nebyl a dokonce byl nižší než výkon, který deklaruje výrobce u neočipovaného sériového motoru. U vozidla vlivem neodborného zásahu do programu řídicí jednotky (čipováním) došlo ke snížení výkonu oproti sériovému vozidlu. Grafy výkonu a momentu jsou v obou případech měření uváděny v závislosti na rychlosti. Bylo to proto, že takto již byla zkušebna nastavena.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STODOLA, J. *Diagnostika motorových vozidel (syllaby k přednáškám)*. Brno: VUT Brno, 2003. 288 s.
- [2] VLK, F. *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. 1. vyd. 434 s. ISBN 80-238-5273-6
- [3] VLK, F. *Diagnostika motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006. 1. vyd. 444 s. ISBN 80-239-7064-X
- [4] *Návod ke standardnímu použití dynamometru LPS 2000*. Přepis z německého originálu, 1993. 3. vyd. 68 s.
- [5] NOVÁK, J. *Dynamometr na vířivé proudy a jeho regulace* [online]. Dostupné z www <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25051>.
- [6] *Užití válcového výkonového dynamometru POWER TESTER ve výuce na středních odborných školách a učilištích*. Studijní texty k 2 semináři
- [7] Fotogalerie Integrované střední školy automobilní v Brně [online]. 2007. Dostupné na WWW: <http://www.issabrno.cz/gl4/slides/mot_dynamometr.php> .
- [8] Magazín Auto.cz. *Seat Leon 4 1.8 20VT – dravec v rouše beránčím*. [online]. 2001, [cit. 11. června 2001]. Dostupný na WWW: <<http://magazin.auto.cz/testy/seat-leon-4-1-8-20vt-dravec-v-rouse-berancim-06-2001.html>>.
- [9] Výzkum a vývoj společnosti Tommü motor tuning. [online]. 2007. Dostupné na WWW: <<http://www.tommutuning.cz/vyzkumvyvoj.html>>.
- [10] Studijní materiály Technické fakulty ČZU: *Metody měření provozních parametrů*. [online]. Dostupné na WWW: <tf.czu.cz/~pexa/Predmety/TD/Prednasky/4p_TechDiag.ppt>.
- [11] ROLLINGER, M. *Technika motocyklu – 13.část – Výkon a kroutící moment*. [online]. 2006, [cit. 7. srpna 2006]. Dostupné na WWW: <<http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-13.-cast-vykon-a-kroutici-moment-3636.html?kid=1117>>. ISSN 1214-7125.

SEZNAM TABULEK

Tab.1: Momenty setrvačnosti rotujících dílů motoru vztažené ke klikovému hřídeli	18
Tab.2: Procentuální ztráty při přenosu výkonu.....	25
Tab.3: Přehled ztrát dle koncepce automobilu.....	25
Tab.4: Údaje o zvoleném vozidle	27
Tab.5: Parametry válcové zkušebny	28
Tab.6: Hodnoty zjištěné při statické metodě při konstantní rychlosti	32

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1:	Vnější charakteristika spalovacího motoru.....	14
Obr.2:	Motorová brzda pro měření výkonu	20
Obr.3:	Motorová brzda s řídicím stanovištěm	21
Obr.4:	Momenty působící vzhledem k hnacímu kolu a vzhledem ke zkušebnímu válci.	22
Obr.5:	Výkonová válcová zkušebna s vířivou brzdou	23
Obr.6:	Výkonová válcová zkušebna s vířivou brzdou z půdorysu.....	24
Obr.7:	Výkonová válcová zkušebna pro nákladní automobily	26
Obr.8:	Vnější charakteristika motoru udávaná výrobcem.....	27
Obr.9:	Ukotvení zkoušeného vozidla na válcích.....	29
Obr.10:	Kleště ke zjišťování otáček motoru	29
Obr.11:	Detail kola na válcích	30
Obr.12:	Grafické zpracování hodnot dynamického měření	31
Obr.13:	Grafické zpracování hodnot statického měření	33
Obr.14:	Grafické porovnání naměřených hodnot výkonu.....	34
Obr.15:	Grafické porovnání naměřených hodnot momentu	35

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1..... Výkon a moment zjištěný při dynamickém měření v závislosti na rychlosti

Příloha č. 2..... Výkon a moment zjištěný při dynamickém měření v závislosti na otáčkách

Příloha č. 3..... Výkon a moment zjištěný při statickém měření v závislosti na rychlosti

Příloha č. 4..... Výkon a moment zjištěný při statickém měření v závislosti na otáčkách

Příloha č. 5..... Tabulka naměřených hodnot při statickém měření