

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



**Měření výkonu osobních vozidel na válcové
zkušebně
diplomová práce**

Vedoucí práce: Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Autor: Bc. Lukáš Beníšek

PRAHA 2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Lukáš Beníšek

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Měření výkonu osobních vozidel na válcové zkušebně

Název anglicky

The performance measuring of passenger cars

Cíle práce

Vytvořit metodický postup měření výkonových parametrů motorových vozidel na válcové zkušebně.

Metodika

- prostudovat základní literaturu, normy, internetové odkazy a další dostupné prameny z celého světa a provést literární rešerši v oblasti měření výkonu motorových vozidel
- vytvořit metodický postup měření na válcové zkušebně včetně vyhodnocení naměřených dat
- v rámci experimentů zhodnotit dosažené výsledky

Doporučený rozsah práce

50-60 stran formátu A4

Klíčová slova

výkon, měření, motorová vozidla, dynamometr, válcová zkušebna

Doporučené zdroje informací

First, J. et al.: Zkoušení automobilů a motocyklů. Příručka pro konstruktéry, Praha, 2008, České vysoké učení technické v Praze, ISBN 978-80-254-1805-5

Hromádka J. et al.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0

REMEK, B.: Provozní údržba a diagnostika vozidel. ČVUT, Praha, 2002, 142 s., ISBN 80-01-02615-9.

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

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 12. 1. 2016

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 14. 03. 2017

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Měření výkonu osobních vozidel na válcové zkušebně vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne _____

Poděkování:

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D. za cenné rady při zpracování práce a ochotu při prováděných měřeních. Dále děkuji doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. a Ing. Pavlu Štěrbovi za poskytnuté informace a názory týkající se tématu této práce.

Poděkování patří i mé rodině, která se zasloužila o vytvoření výborných podmínek, potřebných pro zpracování této práce.

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá problematikou měření výkonových parametrů osobních vozidel na válcové zkušebně. Teoretická část popisuje veličiny spojené s měřením výkonových parametrů automobilů. Dále popisuje jednotlivé metody stanovení výkonových parametrů a jejich výhody a nevýhody.

Praktická část práce se věnuje navržení metodiky měření výkonových parametrů na válcové zkušebně statickou a dynamickou metodou. Tento hlavní cíl práce je rozdělen na dva dílčí, spolu související cíle.

V první části je navržen základní postup změření hodnot výkonových parametrů motoru vozidla a postup zpracování takto změřených dat jak statickou, tak i dynamickou metodou.

V druhé části je provedeno ověření postupů navržených v první části provedením obou metod měření a rozborem zjištěných výsledků. Na základě toho ověření je poté v závěru u každé metody uvedené doporučení pro jejich zefektivnění. Práce obsahuje také diskuzi poukazující na možnost provádění nekalých praktik při měření výkonových parametrů motoru automobilu.

Klíčová slova: výkon, měření, motorová vozidla, dynamometr, válcová zkušebna

The performance measuring of passenger cars

Abstract:

This thesis deals with the issue of performance measurement of passenger cars on the cylindrical testing. The theoretical part describes the quantities associated with measuring performance parameters of cars. It also describes various methods for determining performance parameters and their advantages and disadvantages.

The practical part is devoted to designing performance measurement methodology on the cylindrical testing for static method and dynamic method. The main objective of the work is divided into two parts, with related targets.

In the first part, the basic procedure for measuring the values of the performance parameters of the engine is designed. Also the processing procedure of measured data for both static and dynamic method is designed.

The second part contains the verification procedures designed in the first practical part of both methods of measuring and it also contains an analysis of the results. Based on this verification are then at the end of this thesis recommendations for improvement of each mentioned method. The work also contains discussions referring to the possibility of pursuance of unfair practices when measuring performance parameters of the engine.

Key words: performance, measurement, motor vehicles, dynamometer, cylindrical test room

Obsah

1	Úvod	1
2	Současný stav problematiky měření výkonu osobních vozidel.....	2
2.1	Výkon motoru	2
2.1.1	Indikovaný výkon.....	2
2.1.2	Užitečný výkon.....	3
2.1.3	Jmenovitý výkon	3
2.1.4	Ztrátový výkon	4
2.1.5	Objemový výkon	4
2.1.6	Měrný pístový výkon.....	4
2.1.7	Měrný hmotnostní výkon	5
2.2	Točivý moment spalovacího motoru.....	5
2.3	Otáčky spalovacího motoru.....	7
2.4	Střední efektivní tlak motoru	8
2.5	Měrná spotřeba paliva	8
2.6	Charakteristiky spalovacích motorů.....	9
2.6.1	Otáčkové charakteristiky	10
2.6.2	Otáčkové charakteristiky vznětových motorů.....	10
2.6.3	Otáčkové charakteristiky zážehových motorů	11
2.6.4	Zatěžovací charakteristiky.....	13
2.6.5	Seřizovací charakteristiky	14
2.6.6	Úplné charakteristiky	14
2.7	Měření výkonových parametrů motoru.....	16
2.7.1	Typy používaných výkonových brzd	17
2.7.2	Statické měření na zkušebním stanovišti.....	22

2.7.3	Statické měření na válcové brzdě.....	23
2.7.4	Dynamické měření na válcové brzdě	24
2.7.5	Dynamické měření výkonu volnou akcelerací motoru.....	26
3	Cíl práce.....	28
4	Metodika Práce	29
4.1	Válcová zkušebna na katedře Vozidel a pozemní dopravy.....	29
4.2	Metodika statického měření výkonových parametrů	32
4.3	Měření výkonových parametrů dynamickou metodou	36
5	Výsledky.....	39
5.1	Ford Fiesta.....	39
5.1.1	Statická metoda	39
5.1.2	Dynamická metoda.....	46
6	Diskuze	51
7	Závěr.....	52
	Seznam literatury	53
	Seznam obrázků	55
	Seznam tabulek	56
	Seznam zkratk	56

1 Úvod

Již od počátku existence spalovacích motorů zajímá nejen konstruktéry, ale hlavně zákazníky, jak je daný motor výkonný. Pro drtivou většinu dnešních zákazníků majících v úmyslu si pořídit automobil, hraje pávě výkon motoru jednu z klíčových rolí při výběru. Z tohoto důvodu je na konstruktéry a potažmo automobilky vyvíjen tlak, zapříčiněný požadavky zákazníků na co nejvyšší výkon. Zároveň jsou však automobilky tlačeny ke snižování emisí spalovacích motorů, přičemž se množství emisí přímo odvíjí od výkonových parametrů motoru a od jeho technického stavu.

Výrobci automobilů jsou povinni při prodeji nového vozu deklarovat kromě jiného i výkonové parametry, tedy výkon, točivý moment a spotřebu prodávaného vozidla. Zatímco stávající systém homologačních měřících metod může být považován za téměř dokonalý, problém nastává v oblasti servisní. Důvodem jsou vysoké pořizovací i provozní náklady homologačních měřících stanic, které si nemůže drtivá většina autoservisů a úpravců automobilů dovolit. Pro tyto potřeby tedy muselo vzniknout přijatelné řešení v podobě válcových zkušeben.

Autor se v této práci zabývá metodikou měření výkonových parametrů automobilu využitím válcových zkušeben, neboť ho zaujala jak problematika technického řešení těchto měření, tak i stránka marketingová. Dvě používané metody jsou od sebe samozřejmě rozdílné, nicméně rozdílné je i provedení těchto metod u různých úpravců automobilů nebo v jednotlivých servisech, neboť variant zkušeben je nespočet a každá funguje trochu jinak. Vzhledem k tomu, že zákazník nebývá zpravidla u těchto měření přítomen, nezbývá mu nic jiného, než věřit výstupním protokolům z měření.

Z těchto důvodů se tedy autor rozhodl tímto tématem zabývat, aby vnesl více světla do problematiky měření výkonu na válcových zkušebnách, poukázal na úskalí měření a následné zpracování dat, ze kterých poté vznikne výsledný protokol. Zároveň autor navrhne a ověří metodiku měření výkonových parametrů pro obě základní metody měření pro válcovou zkušebnu České zemědělské univerzity, umístěnou v prostorech dílen Technické fakulty.

2 Současný stav problematiky měření výkonu osobních vozidel

2.1 Výkon motoru

Výkon patří mezi skalární fyzikální veličiny. Definice výkonu uvádí, že se jedná o množství práce vykonané za jednotku času [1]. Jednotkou výkonu je dle soustavy SI, což je mezinárodně domluvená soustava jednotek fyzikálních veličin, watt. V automobilovém průmyslu se pro vyjádření výkonu používá násobek této základní jednotky, kilowatt, jež se značí zkratkou kW.

Existuje více druhů výkonu, jež se používají pro hodnocení a porovnání kvality transformace energie ve spalovacím motoru:

- Indikovaný výkon P_i [kW],
- Užitečný výkon P_e [kW],
- Jmenovitý výkon P_j [kW],
- Ztrátový výkon P_z [kW],
- Objemový (litrový) výkon P_o [kW/dm³],
- Výkon na jednotku plochy pístu P_s [kW/dm²],
- Měrný hmotnostní výkon P_m [kW/kg].

Poslední tři uvedené druhy výkonu se používají pro srovnávání automobilových motorů, jež vždy udávají výkon vztažený na další veličinu.

2.1.1 Indikovaný výkon

Jedná se o výkon, který je vyvíjen účinkem plynů ve válcích a následně je předáván pístům, tj. vnitřní výkon bez mechanických ztrát. Výsledná hodnota odpovídá součtu ploch indikátorových diagramů všech válců. Základem určení je tedy Indikátorový p-V diagram oběhu spalovacího motoru ukazující změnu tlaku ve válci, v závislosti na změně hodnoty zdvihového objemu válce [4]. Vzorec pro výpočet indukovaného výkonu 2.1:

$$P_i = A_i \cdot i \quad [kW] \quad (2.1)$$

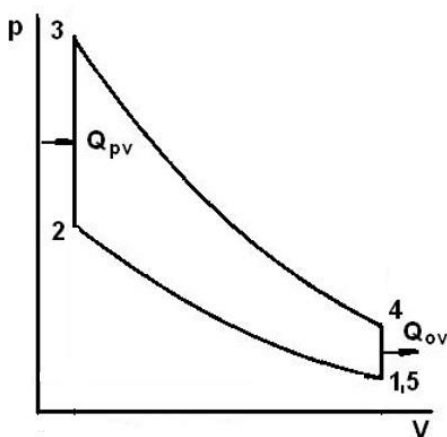
Kde:

A_i – indikovaná práce [kW]

i – počet oběhů za sekundu

Indikovaný výkon je tedy závislý na indikované práci, jež je přímo úměrná ploše indikátorového diagramu (obr. 1), a počtu oběhů za sekundu.

Obrázek 1 Ideální indikátorový pV diagram zážehového motoru



Zdroj: HROMÁDKO, 2011

2.1.2 Užitečný výkon

Je výkon zjištěný na místě odběru výkonu, tedy na výstupním konci hlavního hřídele motoru. Případně se také dá zjistit na spojkové přírubě, pokud při zjišťování pracují i všechna k motoru přímo připojená zařízení, bezpodmínečně potřebné k jeho vlastnímu, pravidelnému a trvalému chodu. Jedná se o výkon motoru využitelný pro pohon spotřebičů. Velikost užitečného výkonu je oproti indikovanému výkonu menší. Důvodem jsou ztráty způsobené třením pohybujících se součástí motoru, ztráty způsobené pohonem pomocných zařízení motoru, ztráty hydraulické a ztráty spojené s výměnou náplně válců. [2,4]

2.1.3 Jmenovitý výkon

Tímto výkonem se rozumí nejvyšší hodnota efektivního výkonu, který dokáže spalovací motor vyvíjet po určitou dobu, při jmenovitých otáčkách trvale, či přerušovaně. [2]

2.1.4 Ztrátový výkon

Jedná se o část indikovaného výkonu spotřebovanou na překonání odporu proti pohybu součástí motoru, k překonání hydraulických ztrát a pro pohon pomocných zařízení spalovacího motoru důležitých pro jeho činnost, například [4]:

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

Ztrátový výkon se tedy dá vypočítat dle vzorce 2.2:

$$P_z = P_i - P_e \text{ [kW]} \quad (2.2)$$

Kde:

P_i – Indikovaný výkon [kW]

P_e – Efektivní výkon [kW]

2.1.5 Objemový výkon

Bývá též označován jako litrový. Vypočítá se jako jmenovitý výkon na jednotku objemu motoru, jak znázorňuje vzorec 2.3. [2]

$$P_z = \frac{P_j}{V_M} \quad \left[\frac{\text{kW}}{\text{dm}^3} \right] \quad (2.3)$$

kde:

V_M – objem motoru [dm^3]

2.1.6 Měrný pístový výkon

Jedná se o výkon na jednotku plochy pístu 2.4. [2]

$$P_z = \frac{P_j}{i \cdot S} \quad \left[\frac{kW}{dm^2} \right] \quad (2.4)$$

kde:

i – počet válců [-]

S – plocha pístu [dm^2]

2.1.7 Měrný hmotnostní výkon

Vypočítá se jako jmenovitý výkon vztažený na hmotnost motoru, bez naplnění provozními kapalinami 2.5. [2]

$$P_z = \frac{P_j}{m_M} \quad \left[\frac{kW}{kg} \right] \quad (2.5)$$

kde:

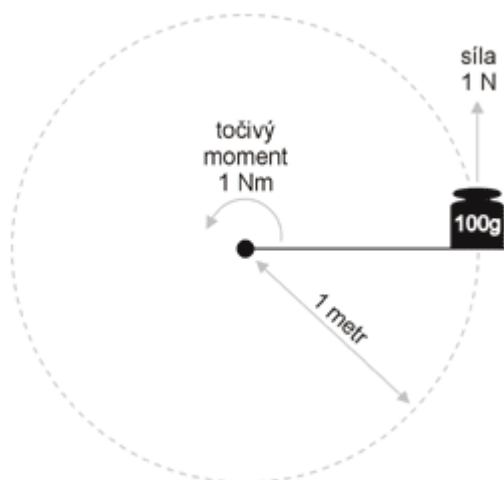
m_M – hmotnost motoru [kg]

2.2 Točivý moment spalovacího motoru

Podle normy ČSN 09 0722 je točivý moment spalovacího motoru moment vyvíjený motorem na konci hnacího hřídele, tedy na výstupu z motoru. [13]

Točivým momentem se rozumí působení síly na bod vzdálený od osy otáčení, tedy od hřídele motoru. Z fyzikálního hlediska se jedná o moment síly. Točivým momentem se tato veličina nazývá u rotačních pohonných systémů, tedy i v oblasti zkoušení automobilů. Jednotkou točivého momentu je newton metr. Značí se zkratkou Nm. Jeden newton metr vyjadřuje moment síly o velikosti 1 newton, působící na rameno o velikosti 1 metr. 1 Nm točivého momentu je síla potřebná k udržení závaží o hmotnosti cca 0,1 kg na beztížném vodorovném rameni ve vzdálenosti 1 metr od středu otáčení, jak ukazuje obrázek 2. [6,7,8]

Obrázek 2 Princip vzniku točivého momentu



Zdroj: <http://hotrally.sweb.cz/tech/teorie.html>

Vznik točivého momentu spočívá v síle, která je vedena přes pístní čep na ojnici a poté přes ojniční čep na klikový hřídel. Tato síla je tvořena pohybem pístu ve válci motoru. Píst se ve válci pohybuje vlivem tlaku, vzniklého expanzí směsi vzduchu a paliva při spalování této směsi ve spalovacím prostoru válce. [7,9]

Výpočet točivého momentu při známém výkonu a otáčkách motoru lze provést podle vzorce (6).

$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad (6)$$

kde:

P – užitečný výkon na klikovém hřídeli [kW]

ω – úhlová rychlost [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]

n – otáčky motoru [s]

U měření spalovacích motorů lze pro výpočet točivého momentu použít vzorec 2.7.

$$M = I \cdot \varepsilon \quad (2.7)$$

kde:

I – moment setrvačnosti pohybujících se hmot motoru redukováných na klikový hřídel [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

ε - úhlové zrychlení klikového hřídele motoru [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$]

Předpokladem pro použití toho vzorce je znalost momentu setrvačnosti pohybujících se hmot motoru. Jeho stanovení je však složité. Stanovuje se výpočtem, nebo experimentálně, přičemž experimentů pro stanovení momentu setrvačnosti pohybujících se hmot motoru existuje několik.

2.3 Otáčky spalovacího motoru

Otáčky motoru nejsou úplně přesný pojem, přesto je nejčastěji používaným. Ve skutečnosti se jedná o otáčky klikového hřídele, jež se uvádějí v otáčkách za minutu. Otáčky za minutu patří mezi vedlejší jednotky soustavy SI, konkrétně je to vedlejší jednotka pro frekvenci, tedy počet pravidelně se opakujících jevů za jednotku času, v tomto případě za minutu. Tato jednotka se používá zejména pro vyjádření rychlosti otáčení nejrůznějších mechanických zařízení - točivých strojů, například právě frekvence otáčení klikové hřídele automobilového motoru. [10]

Spalovací motory automobilů mají velký pracovní rozsah otáček. Nejvyšší hodnota výkonu motoru nastává při určitých otáčkách. Tyto otáčky se nazývají Jmenovitými otáčkami podle předpisu EHK/OSN č. 85. Maximální hodnota otáček se liší na základě konstrukce motorů. [11]

Vyššími otáčkami motoru lze zvýšit jeho výkon. Motor v tomto případě může být menší a lehčí. Provozování motoru při vysokých otáčkách se však projeví na rychlejším opotřebení a větší hlučnosti. Dnešní zážehové motory osobních automobilů mají max. otáčky převážně do 7000 ot/min. Vznětové motory osobních automobilů převážně do 5000 ot/min. [12]

2.4 Střední efektivní tlak motoru

Střední efektivní tlak p_e je významným ukazatelem výkonového potenciálu pístového spalovacího motoru, nejedná se však o přímo měřitelnou veličinu. Střední efektivní tlak je určen přepočtem z hodnoty středního indikovaného tlaku p_i . Pro konkrétní motor se určuje výpočtem z hodnoty točivého momentu motoru. Pro daný motor jsou střední efektivní tlak i střední indikovaný tlak fiktivní konstantní veličinou. [16]

Střední indikovaný tlak je charakterizován jako pomyslný konstantní tlak působící na píst, který by při trvalém působení na píst po celý expanzní zdvih vykonal stejnou práci, jako je skutečná indikovaná práce oběhu. Velikost středního indikovaného tlaku snižená o vnitřní mechanické ztráty třením při přenosu výkonu od pístu na klikový hřídel motoru, je hodnota středního efektivního tlaku. [12]

Velikost středního efektivního tlaku se spočítá dle vzorce 2.8:

$$p_e = p_i \cdot \eta_m \quad (2.8)$$

Kde:

η_m – je mechanická účinnost vyjadřující ztráty třením při přenosu výkonu od pístu na klikovou hřídel [-]

Pro různé konstrukce spalovacích motorů se volí různá hodnota středního efektivního tlaku:

- do 1,0 MPa pro motory zážehové,
- do 1,2 MPa pro motory vznětové,
- do 1,5 MPa pro motory přeplňované.

Zvyšování hodnoty středního efektivního tlaku se zvyšuje výkon motoru i točivý moment, avšak roste i namáhání jednotlivých součástí motoru.

2.5 Měrná spotřeba paliva

Je definována jako hmotnost paliva v gramech, které je spotřebováno na jeden kilowatt výkonu motoru za jednu hodinu [$\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$].

Měrná spotřeba tedy vyjadřuje přeměnu tepelné energie paliva na mechanickou práci spalovacího motoru. Efektivní výkon motoru a měrná spotřeba paliva jsou vhodným souhrnným diagnostickým signálem. Většina závad na vznětových a zážehových spalovacích motorech se projeví zpravidla zvýšením spotřeby paliva. [15]

Měrná spotřeba paliva se dá vypočítat podle vzorce 2.9:

$$m_{pe} = \frac{M_{p/h}}{P_e} \cdot 1000 \quad (2.9)$$

Kde:

$M_{p/h}$ – hodinová spotřeba paliva [kg/hod]

P_e – efektivní výkon motoru [kW]

m_{pe} – měrná spotřeba paliva [$g \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1}$]

Měření spotřeby paliva se provádí několika způsoby. Nejčastější metodou je měření na výstupu z palivové nádrže, při které se však musí brát v úvahu i zpětné vedení paliva do nádrže. Složitější metodou, z důvodu konstrukce palivové části motoru, je vážení palivové nádrže. U moderních motorů s jak nepřímým, tak i přímým vstřikem paliva se spotřeba určuje podle velikosti a doby vstřiku paliva. [15, 14]

2.6 Charakteristiky spalovacích motorů

Charakteristikou pístového spalovacího motoru se rozumí grafické znázornění vzájemných souvislostí určitých provozních veličin motoru v soustavě pravoúhlých souřadnic. [10]

Charakteristiky se podle zvolené nezávisle proměnné veličiny rozdělují na:

- Otáčkové charakteristiky – nezávislou proměnnou jsou otáčky klikové hřídele motoru n [min^{-1}]. Dříve se nazývaly Rychlostní charakteristiky.
- Zatěžovací charakteristiky – nezávislou proměnnou je točivý moment motoru M_t [Nm], nebo střední efektivní tlak motoru p_e [MPa], nebo efektivní výkon motoru [kW].

- Seřizovací charakteristiky – nezávislou proměnnou může být úhel předstihu zážehu α [°], otevírací tlak trysky p [MPa] a další.
- Úplné charakteristiky – nejčastěji proměnná veličina (spotřeba paliva, emise, tlak turbodmychadla atd.) v závislosti na otáčkách a točivém momentu motoru. Je to soustava charakteristik tvořící trojrozměrný diagram.

2.6.1 Otáčkové charakteristiky

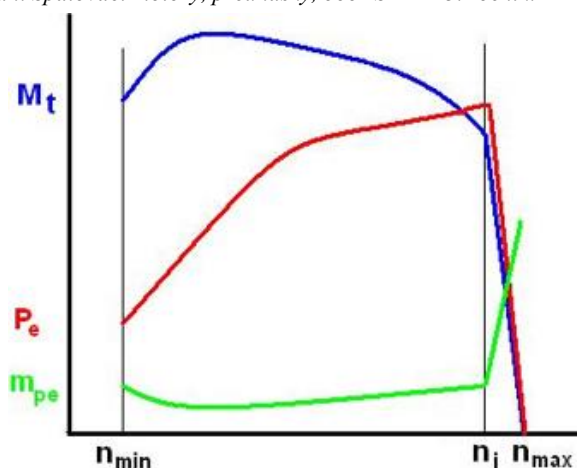
„Otáčkové charakteristiky znázorňují závislost užitečného výkonu P_e [kW], točivého momentu M_t [Nm], hodinové spotřeby paliva M_p [kg·h⁻¹] nebo měrné spotřeby paliva m_{pe} [g·kW⁻¹·h⁻¹] a dalších parametrů na otáčkách n [min⁻¹] klikového hřídele motoru při konstantní poloze ovládacího orgánu řízení dodávky paliva do motoru. Přechod na jiný otáčkový režim práce motoru je tedy řízen pouze změnou brzdného momentu.“ [10]

2.6.2 Otáčkové charakteristiky vznětových motorů

2.6.2.1 Jmenovitá otáčková charakteristika

Princip otáčkové charakteristiky vznětového motoru spočívá v tom, že vstříkovací čerpadlo, respektive ovládací páka vstříkovacího čerpadla, je nastavena na maximální dodávku paliva a motor dosahuje jmenovitého výkonu P_j při jmenovitých otáčkách n_j . V dokumentaci výrobců jsou nejčastěji uváděny průběhy měrné efektivní spotřeby paliva, točivého momentu a efektivního výkonu motoru v rozmezí otáček minimální – jmenovité – maximální. [10]. Výstup jmenovité otáčkové charakteristiky vznětového motoru je znázorněn na obrázku 3.

Obrázek 3 Jmenovitá otáčková charakteristika vznětového motoru
Zdroj: Hromádko. Jan. Spalovací motory, přednášky, obor SMAD 3. ročník.



Dalšími typy otáčkových charakteristik jsou:

- Částečná otáčková charakteristika – provádí se při částečném zatížení, kdy každá otáčková charakteristika přísluší menšímu nastavení dodávky paliva, než jaké odpovídá jmenovitému výkonu.
- Maximální otáčková charakteristika – odpovídá maximálnímu nastavení dávkování paliva, přípustnému pro trvalý provoz při různých otáčkách.

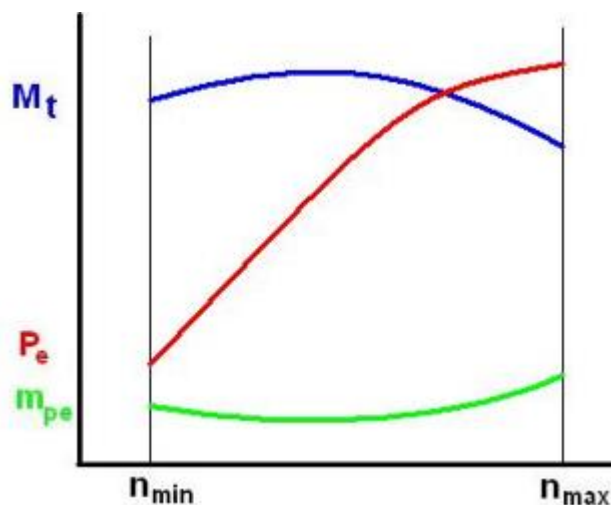
2.6.3 Otáčkové charakteristiky zážehových motorů

Měření vnější otáčkové charakteristiky zážehového spalovacího motoru se provádí při plném otevření vzduchové přívěry u motorů se vstříkovaním paliva. U moderních motorů, kdy některé nemají škrtecí klapku, je soustava charakteristik měřena při různých polohách akceleračního pedálu. [10, 17]

Dokumentace výrobců obvykle obsahuje otáčkovou charakteristiku vyjadřující průběh točivého momentu M_t , efektivního výkonu P_e a měrné efektivní spotřeby paliva m_{pe} v závislosti na otáčkách klikové hřídele v rozsahu minimální – maximální. Příklad vnější otáčkové charakteristiky zážehového motoru je na obrázku 4.

Obrázek 4 Vnější otáčková charakteristika zážehového motoru

Zdroj: Hromádko. Jan. Spalovací motory, přednášky, obor SMAD 3. ročník.



Minimální otáčky jsou takové, které umožňují dlouhodobý provoz motoru při plném zatížení. Maximální otáčky by neměly být při provozu motoru překračovány, kvůli hrozícímu poškození motoru. [10, 17]

Maximální otáčky jsou u současných motorů elektronicky regulovány. Regulační pásmo se pohybuje kolem 150 otáček za minutu. Toto je důvod, proč charakteristika končí na hodnotě maximálních otáček motoru a nepokračuje dále.

U motorů, které nemají maximální otáčky regulované elektronikou motoru, pokračuje charakteristika pozvolným poklesem až k nulovým hodnotám. Točivý moment motoru s rostoucími otáčkami rychle klesá. To je způsobeno špatným plněním válců při vysokých otáčkách. Současně s rostoucími otáčkami roste i ztrátový moment motoru. Motor se ustálí na takových otáčkách, kdy je ztrátový moment roven indikovanému momentu motoru. [10, 17]

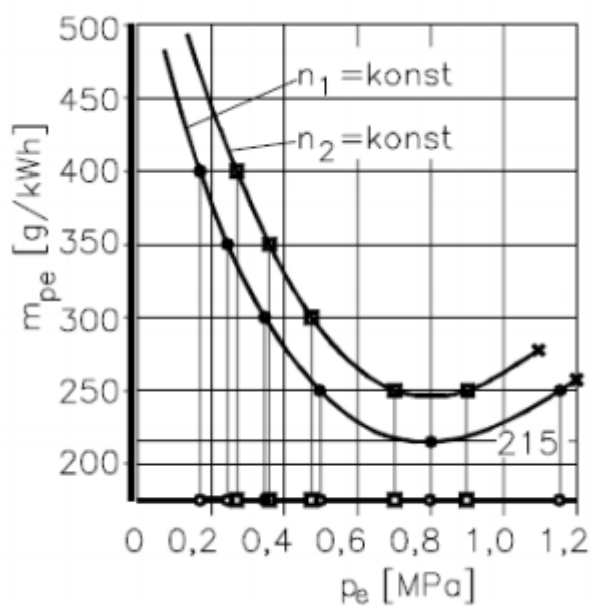
Měření soustavy otáčkových charakteristik se provádí při různě nastavené poloze škrticí klapky (100%, 75%, 50% atd.). V případě moderních motorů, které nemají škrticí klapku, se soustava otáčkových charakteristik měří při různě nastavené poloze akceleračního pedálu. [10, 17]

2.6.4 Zatěžovací charakteristiky

Zatěžovací charakteristika vyjadřuje závislost vybraných parametrů motoru na zatížení, a to při konstantních otáčkách klikového hřídele motoru. Veličinou charakterizující zatížení motoru může být střední efektivní tlak, výkon motoru nebo točivý moment. Vybranými parametry, které se v zatěžovací charakteristice sledují, jsou měrná efektivní spotřeba paliva, jednotlivé složky emisí výfukových plynů, případně i teplota výfukových plynů, které se značí jako t_v a jednotkou této veličiny je Kelvin [K], případně může být tato teplota vyjádřena ve Stupních Celsia [°]. [10, 18]

Příklad zatěžovací charakteristiky vyjadřující závislost měrné efektivní spotřeby paliva na středním efektivním tlaku při zvolených konstantních otáčkách n_1 a při druhé konstantní hodnotě otáček n_2 je uveden na obrázku 5.

Obrázek 5 Zatěžovací charakteristika



Zdroj: www.scribd.com/doc/29560735/Vozidlove-motory-Prof-Ing-Stanislav-Beroun-CSc

2.6.5 Seřizovací charakteristiky

Některé zdroje je též nazývají regulační. Obdobně jako otáčkové charakteristiky znázorňují závislost užitečného výkonu, točivého momentu, měrné efektivní spotřeby paliva nebo hodinové spotřeby paliva na zvolené provozní, nebo konstrukční veličině. Těmito veličinami jsou úhel předstihu α [°], otevírací tlak trysky p [MPa], součinitel přebytku vzduchu λ [–] a další. [2, 5]

Při měření se mění pouze sledovaná veličina. Otáčky, teploty a další vstupní veličiny jsou konstantní. Tato charakteristika se hlavně využívá v oblasti výzkumu a vývoje konstrukčních prvků majících vliv na výstupní hodnoty motoru. [5]

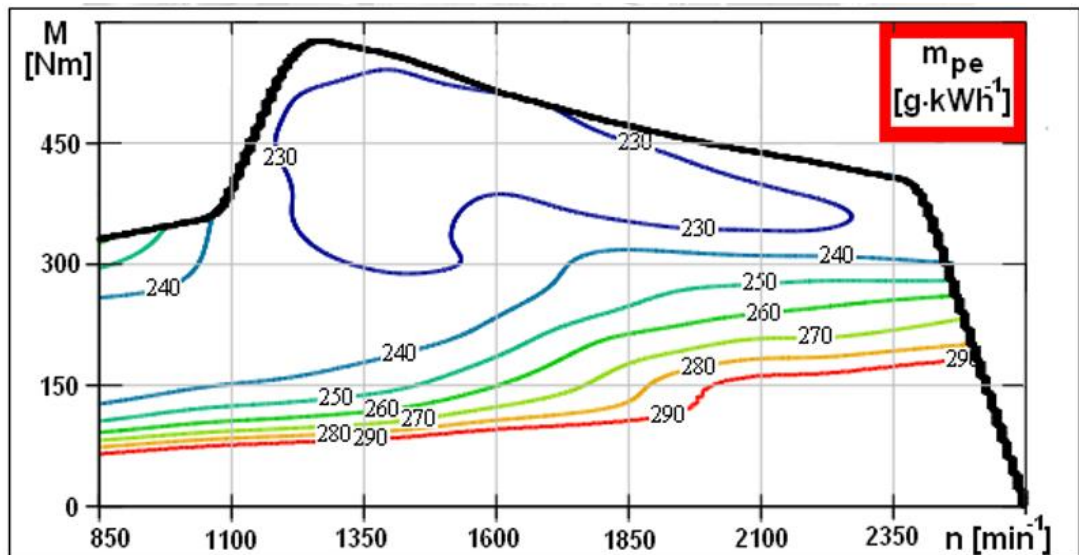
2.6.6 Úplné charakteristiky

Též zvané celkové. Jedná se o diagramy, které soustavou křivek znázorňují závislost sledovaných veličin, kterými jsou nejčastěji točivý moment motoru, případně střední efektivní tlak, na otáčkách klikového hřídele motoru. Pro možnost jednotného posouzení motorů celkovou charakteristikou se stanovuje jednotná soustava os, zpravidla pravoúhlá. [10, 18]

Úplná charakteristika nepatří mezi charakteristiky, které se měří přímo. Sestrojuje se na základě soustavy otáčkových a zatěžovacích charakteristik. Princip spočívá v tom, že ke všem bodům s určitou stejnou souřadnicí na křivkách jedné ze sledovaných veličin, tedy pro určitou hodnotu této veličiny, zjistí hodnota otáček a středního efektivního tlaku. Vynesením těchto hodnot jakožto souřadnic se získají body jedné křivky celkové charakteristiky. [10, 17]

Příklad celkové charakteristiky motoru je uveden na obrázku 6. Konkrétně se jedná o celkovou charakteristiku měrné spotřeby paliva motoru Avie D432.100. [10, 17]

Obrázek 6 Úplná charakteristika motoru



Zdroj: Hromádko. Jan. Spalovací motory, přednášky, obor SMAD 3. ročník.

Na základě četnosti výskytu v celkové charakteristice lze veličiny rozdělit na veličiny vyskytující se v celkové charakteristice:

- Vždy
 - měrná efektivní spotřeba paliva m_{pe} [$\text{g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$].
- obvykle
 - efektivní výkon p_e [kW],
 - teplota výfukových plynů t_v [$^{\circ}\text{C}$],
 - kouřivost k [m^{-1}],
 - emise [%, ppm].
- někdy
 - konstantní cyklové dávky paliva M_{pe} [$\text{mg}\cdot\text{cykl}^{-1}$] (u vznětových motorů),
 - jednotlivé větve soustavy otáčkových charakteristik (u vznětových motorů s výkonostním regulátorem).
- přepřlňované motory
 - otáčky turbodmyhadla n_{TD} [s^{-1} , min^{-1}],

- plnicí tlak turbodmychadla p_{D2} [kPa],
- tlak plynů při vstupu do turbíny p_{T1} [kPa].

Celková charakteristika se využívá pro definování optimálního pracovního režimu motoru z hlediska ekonomičnosti provozu. Na jejím základě se tedy stanovuje takový režim, který má pro požadovaný výkon nejmenší měrnou efektivní spotřebu paliva. [17, 10]

2.7 Měření výkonových parametrů motoru

Metod pro měření výkonových parametrů motoru, tedy točivého momentu a výkonu v závislosti na frekvenci otáček motoru existuje několik. Míra přesnosti je u těchto metod rozdílná, stejně jako náročnost vlastního měření a nároky na měřicí přístroje a celkové vybavení. Nejpoužívanějšími metodami pro měření výkonových parametrů spalovacího motoru jsou zobrazeny v tabulce 1. [10, 19]

Tabulka 1 Metody měření výkonových parametrů spalovacích motorů

způsob zatížení	umístění motoru	výstup výkonu	princip měřícího zařízení
STACIONÁRNÍ (STATICKÉ) <ul style="list-style-type: none"> • zatěžovacím momentem brzdy se udržují předvolené otáčky motoru (automobilové motory) • zvolí se zatěžovací moment brzdy nezávisle na otáčkách (motory s vlastní regulací) 	zkušební stanoviště	klikový hřídel nebo jiné srovnatelné místo	absorpční dynamometry: <ul style="list-style-type: none"> • elektromagnetické vířivé brzdy • hydraulické brzdy • mechanické frikční brzdy • vzduchové brzdy • tandemové brzdy
	ve vozidle (podle normy) v místě instalace	obvod hnacích kol (válcové zkušebny)	univerzální dynamometry: <ul style="list-style-type: none"> • elektrodynamické motor-generátory na stejnosměrný nebo střídavý proud
		klikový hřídel nebo jiné srovnatelné místo	torzní dynamometry
DYNAMICKÉ urychlování setrvačných hmot zvoleným točivým momentem	ve vozidle	vývodový hřídel (traktory)	měření úhlového zrychlení setrvačných hmot <ul style="list-style-type: none"> • přídavné setrvačníky na válcích
		obvod hnacích kol (válcové zkušebny)	měření úhlového zrychlení klikového hřídele samotného motoru tzv. volná akcelerace nebo s přídavnými setrvačnými hmotami při jízdě na určitý převodový stupeň apod.
		přepočtení výkonu na klikový hřídel	měření přímočarého zrychlení celého vozidla

Zdroj: HROMÁDKO, 2011

2.7.1 Typy používaných výkonových brzd

Pro měření výkonu se nejčastěji používají zařízení označované jako výkonové brzdy. Tento název je odvozen z brzdného momentu, který působí proti točivému momentu, který není známý a měří se. Velikost brzdného momentu je buď známá, nebo se dá jednoduše změřit, neboť tento brzdný moment vytváří právě výkonová brzda. [10]

V praxi se nepoužívají mechanické brzdy. Nejčastěji používané brzdy jsou:

- Hydraulické – pracují na principu hydraulické spojky, které se dle potřeby zaplavuje kapalinou, nejčastěji vodou z důvodu velmi dobrého odvodu tepla.
- Elektrické vířivé – brzdný moment je regulován velikostí proudu v budících cívkách statoru.
- Stejnoseměrné dynamometry – pracují na stejném principu, jako stejnosměrný motor, kde dojde k vyvození brzdného momentu buď regulovaným zkratováním vinutí, nebo protiproudem, kdy se dynamometr elektricky roztáčí na druhou stranu, než jím otáčí zkoušený motor.

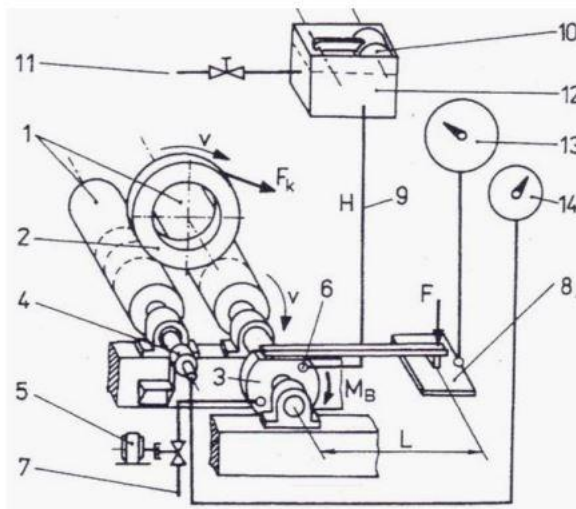
2.7.1.1 Hydraulická brzda

Hydraulická brzda funguje na principu hydraulické spojky, která je zaplavována dle potřeby kapalinou. Touto kapalinou je nejčastěji voda, protože nejlépe odvádí teplo. [19]

V případě náhodného přehřátí, nedojde k zastavení brzdy. Důvodem je, že brzda přestane plnit svoji funkci, kvůli vznikajícím parním bublinám. Rotor, jež se otáčí, víří svými lopatkami vodu v komoře, čímž působí na lopatky statoru a vlivem hydrodynamického odporu je vnitřním třením částic kapaliny brzděn v otáčivém pohybu. Takto mařená kinetická energie se mění na teplo, které se musí neustále odvádět. [19, 20]

Použití hydraulické brzdy není příliš vhodné pro měření motorů o velkém výkonu. Její použití je závislé na množství vodní náplně a její teplotě, protože teplota vody přímo ovlivňuje absorpční schopnost brzdy. Parní bubliny, které mohou případně vzniknout, znehodnocují měření. [19, 20]

Obrázek 7 Uspořádání hydraulické brzdy

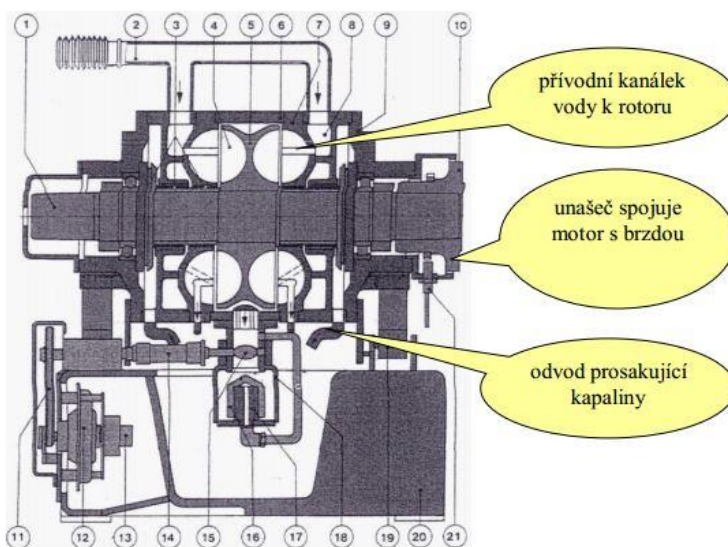


Zdroj: http://net-auto.cz/moodle/file.php/14/P5-TEMA_13_Mereni_vykonu_motorovych_vozidel.pdf

1 – zkušební válce (přední a zadní), 2 – kolo vozidla, 3 - hydraulická brzda, 4 – tachodynamo (snímač otáček), 5 – servomotor, 6 – přívod vody, 7 – odvod vody, 8 – snímač síly, 9 – vodní spád, 10 – plovák, 11 – vodovod, 12 – nádrž s vodou, 13 – siloměr, 14 – rychloměr

Obrázek 7 ukazuje uspořádání hydraulické brzdy již zastavěné ve zkušebních prostorech, kde dochází k samotnému měření. Schéma samostatné hydraulické brzdy je zobrazeno na obrázku 8.

Obrázek 8 Schéma hydraulické brzdy



Zdroj: http://net-auto.cz/moodle/file.php/14/P5-TEMA_13_Mereni_vykonu_motorovych_vozidel.pdf

1 – hřídel, 2 – přívod vody, 3 – těsnění, 4 – lopatky rotoru, 5 – rotor, 6 – těleso statoru, 7 – lopatky statoru, 8 – rozváděcí komora, 9 – boční čela, 10 – unašeč, 11 až 14 – regulační ústrojí, 15 – škrticí klapka, 16 a 17 – řídicí ventil, 18 – regulační ústrojí, 19 – těleso brzdy, 20 – lože brzdy, 21 – snímač otáček

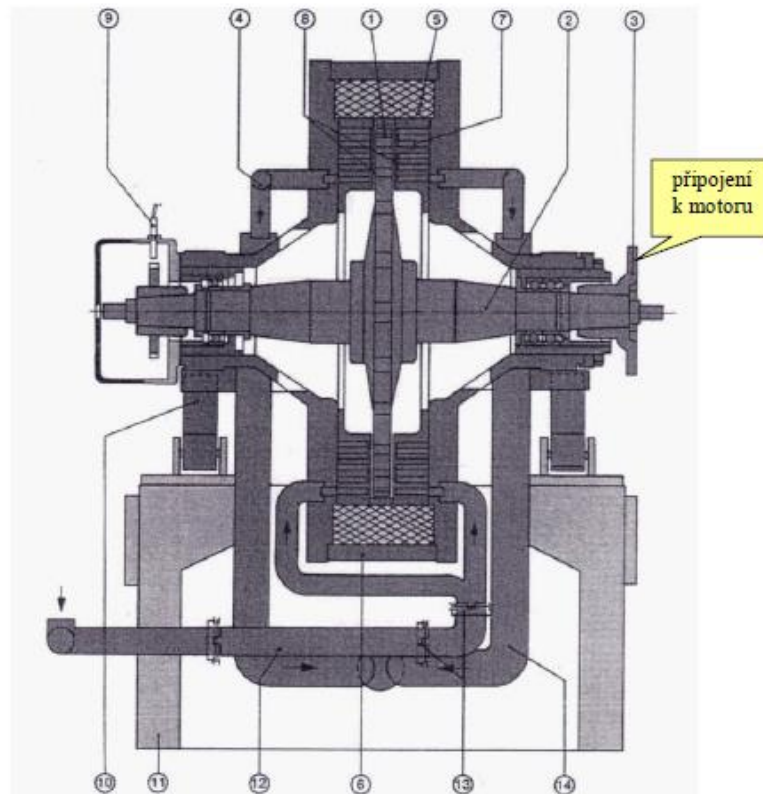
2.7.1.2 Elektromagnetická vířivá brzda

U tohoto typu brzdy je brzdňý moment generován vířivými proudy a intenzita magnetického pole budících cívek je regulována počítačem. Otáčky i točivý moment se u moderních vířivých brzd nastavuje elektricky. To znamená, že je brzda schopna automatického provozu i při měření velkých výkonů. [10, 19, 20, 21]

Elektromagnetická vířivá brzda se skládá z výkyvně uloženého tělesa, ve kterém je připevněn ozubený pólový kotouč, budící vinutí a chladicí komory. Průtokem stejnosměrného proudu budícím vinutím vzniká magnetické pole, které je v zubech pólového kotouče statické. To znamená, že obíhá spolu s pólovým kotoučem. Ve stěnách chladicích komor ale toto pole pulsuje s frekvencí, jež odpovídá frekvenci otáčejících se zubů pólového kotouče. Následkem jsou vzniklé vířivé proudy ve stěnách chladicích komor. Tyto vířivé proudy vytvářejí vstřícné pole, čímž brzdí motor. Odbrzdená energie se ve formě tepla odvádí chladicími komorami, kterými proudí voda. Díky tomu, že magnetické siločáry procházejí zuby pouze v axiálním směru, může být pólový kotouč úzký. Oproti jiným konstrukcím má tedy elektromagnetická vířivá brzda malý moment setrvačnosti. Další výhodou této konstrukce je její symetričnost, následkem čehož se může brzda otáčet oběma směry. [10, 19, 20, 21]

Schéma elektromagnetické vířivé brzdy je znázorněno na obrázku 9. Na obrázku 10 je znázorněno brzdné pole elektromagnetické vířivé brzdy, ukazující závislost brzděného výkonu a točivého momentu na otáčkách. [10, 19, 20]

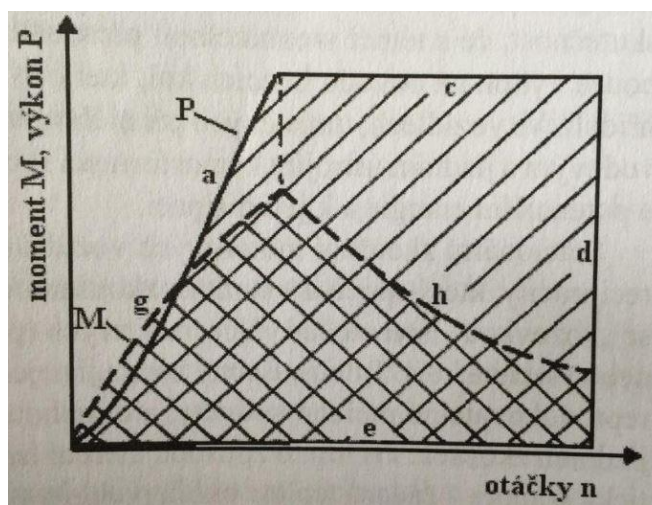
Obrázek 9 Schéma elektromagnetické vířivé brzdy



Zdroj: http://net-auto.cz/moodle/file.php/14/P5-TEMA_13_Mereni_vykonu_motorovych_vozidel.pdf

1 – rotor jako ozubený pólový kotouč, 2 – hřídel, 3 – unášec, 4 – odvod chladicí kapaliny, 5 – budicí cívky, 6 – těleso statoru, 7 – vodní chladicí kanálky, 8 – vzduchová mezera, 9 – snímač otáček, 10 – těleso brzdy, 11 – lože brzdy, 12 a 13 – přívodní potrubí chladicí kapaliny, 14 – odvod chladicí kapaliny

Obrázek 10 Brzdné pole elektromagnetické vířivé brzdy



Zdroj: Hromádka, 2011

a – maximální magnetický výkon, c – maximální absorpční schopnost brzdy, d – maximální přípustné otáčky brzdy, e – minimální (tzv. nulové) zatížení vyvolané ventilačními ztrátami a třením v ložiskách, g – přenášený točivý moment v závislosti na otáčkách (odpovídá výkonové křivce a), h – přípustný točivý moment (odpovídá výkonové křivce c)

2.7.1.3 Stejnoseměrné dynamometry

V některých zdrojích též označovány jako univerzální brzdy či elektrodynamické brzdy. Jedná se o elektrické stroje pracující na principu stejnosměrného elektromotoru. Brzdňý moment je generován regulovaným zkratováním vinutí, nebo změnou polarity stejnosměrného proudu. Stejnoseměrný proud se změněnou polaritou se snaží elektromotor roztočit proti směru, kterým jím otáčí zkoušený motor. [10, 19, 21]

Stejnoseměrné dynamometry jsou konstruovány s výkyvně uloženým statorem. Podobně jako u vířivých brzd může být výkyvné uložení provedeno dvěma způsoby. V případě prvního provedení je stator zavěšen v ložiskách hřídele rotoru. Hřídel rotoru je uložena v pevných ložiskách. V případě druhého provedení je stator výkyvně uložen v pevných ložiskách uložených ve statoru. [10]

Výhodou těchto dynamometrů je možnost jejich použití pro roztočení válců, na kterých stojí kola zkoušeného automobilu. Mohou tedy plnit i funkci motorů. Nejčastěji se stejnosměrné dynamometry používají pro homologační měření transientních cyklů. U těchto cyklů je požadována změna zatížení a otáček s frekvencí 10 Hz. Této regulace jsou schopné právě stejnosměrné dynamometry.

Další druhy dynamometrů se dle vyvozeného tření dělí na:

- Třecí dynamometry – zastaralé, nepoužívají se,
- Vzduchové dynamometry – zastaralé, nepoužívají se,
- Hydraulické dynamometry – brzdící moment se získává odporem, který klade kapalina otáčejícímu se kotouči,
- Elektrické dynamometry – vhodné pro dálkové ovládání a automatizaci.
 - Vířivé,
 - Střídavé,
 - Asynchronní,
 - Synchronní.
 - Stejnoseměrné.

2.7.2 Statické měření na zkušebním stanovišti

Měřením se zjišťuje statický, trvalý a ustálený výkon na klikovém hřídeli. Tento způsob měření je plně průkazný a akceptovatelný z legislativního hlediska, co se týče reklamací, obchodních sporů a podobně, neboť postup měření na zkušebním stanovišti i vyhodnocení získaných dat je definován mezinárodním předpisem EHK 85 v platném znění. [10, 19]

Touto metodou se přímo měří točivý moment motoru pomocí deformačních členů. Moment síly namáhá hřídel krutem, ten se poté převádí na deformaci a měří tenzometrickými snímači nebo snímačem výchylky. Výsledný moment, který je roven součinu síly namáhající tenzometr a délky ramene, na kterém síla působí, představuje momentovou rovnováhu. [19, 21]

Při známém točivém momentu a úhlové rychlosti otáčení hřídele se výsledný výkon vypočítá pomocí vzorce 2.10.

$$P = M \cdot \omega \quad (2.10)$$

Kde:

M – naměřený točivý moment motoru [Nm]

ω – úhlová rychlost otáčení hřídele [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]

Po vyjádření úhlové rychlosti pomocí otáček hřídele se vzorec 2.10 vyjádří jako:

$$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \quad (2.11)$$

Kde:

n – otáčky klikové hřídele [s^{-1}]

V motorářské praxi se obvykle nepoužívají výhradně základní jednotky soustavy SI. Při dosazení hodnot do vzorce 2.11 v jednotkách, které se v motorářské praxi používají, tedy newtonmetry, kilowatty a otáčky za minutu, tento vztah se přetransformuje na rovnici 2.12, která představuje nejběžněji používaný vzorec pro výpočet výkonu spalovacího motoru. [19]

$$P \cong \frac{M \cdot n}{9549} \quad (2.12)$$

Kde:

9549 – konstanta vzniklá přepočtem z úhlové rychlosti na otáčky za minutu

V anglosaských zemích a ve starší literatuře je výkon a točivý moment udáván v ještě jiných jednotkách. Výkon udávají v koních, značka je PS, případně HP. Točivý moment udávají v pound-foot, značka je lb·ft, tedy libra krát stopa. Pro tyto jednotky platí následující převodové vztahy:

$$P[\text{kW}] = 0,735 \cdot P[\text{HP}] \quad (2.13)$$

$$M[\text{Nm}] = 0,735 \cdot M[\text{lb} \cdot \text{ft}] \quad (2.14)$$

2.7.3 Statické měření na válcové brzdě

Velkou výhodou měření výkonových parametrů na válcové brzdě je operativnost, neboť není nutná demontáž motoru z motorového prostoru vozidla. Důsledkem této operativnosti a pohodlí je však skutečnost, že touto metodou nelze změřit skutečný výkon na klikové hřídeli motoru, ale pouze výkon na obvodu hnacích kol. Výkon na obvodu hnacích kol je nižší, než užitečný výkon na klikové hřídeli motoru. Důvodem je disipace naakumulované kinetické a potenciální energie při jejím přenosu převodovým a jízdním ústrojím. Opakovatelnost tohoto měření není dobrá, rozdíl jednotlivých měření nebývá v praxi nižší než 5 %. Při dostatečně velké pečlivosti měření je v praxi možné určit výkon motoru na klikové hřídeli s přesností 5 – 7 %. Přenositelnost výsledků z jednoho pracoviště na jiné je prakticky nulová. [10, 19, 21, 22]

Problém také nastává při chlazení zkoušeného vozidla, neboť, na rozdíl od klasické jízdy vozidla po komunikaci, vozidlo stojí. Musí tedy být zajištěno dostatečné chlazení. To je důležité pro kvalitu získaných dat. Pokud není vozidlo dodatečně chlazeno, dochází v ustáleném režimu k pozvolnému poklesu výkonu. Ve většině případů, kdy dochází k takovému pozvolnému poklesu výkonu, je na vině právě nedostatečné chlazení zkoušeného automobilu chladičím ventilátorem. Výkon těchto ventilátorů, které jsou standardně dodávány s válcovými brzdami, se pohybuje v rozmezí 15 – 35 kW. [15, 19]

Z výše uvedeného vyplývá, že výsledky měření touto metodou je třeba brát s jistým nadhledem a k jejich aplikaci přistupovat opatrně. Velká využitelnost této metody je při srovnávacích zkouškách stejného vozidla na stejném pracovišti při stanovení výkonu a na obvodu hnacích kol. Pro změření skutečných parametrů motoru však není úplně vhodná. [15]

Vlastní měření sestává z přímého změření skutečného výkonu na hnacích kolech a z následné korekce naměřených hodnot. [15]

2.7.4 Dynamické měření na válcové brzdě

V dnešní době je tato metoda ve značné míře používána. Uplatnění nachází hlavně v servisní praxi a spočívá ve sledování akcelerace celého vozidla, nebo případně i jenom samotného motoru. [19]

Základním rozdílem oproti statické metodě měření, kdy se výkonové parametry měří při ustálených otáčkách klikové hřídele motoru a konstantním zatížení, je měření výkonových parametrů při dynamických režimech motoru automobilu, tedy při akceleraci, nebo deceleraci. Motor zatěžuje především setrvačnost všech příslušných rotujících hmot motoru, například [22] :

- Klikový hřídel,
- Vačkový hřídel,
- Vyvažovací hřídele,
- Setrvačnick,
- Ojnice (poměrná část jejich hmoty),
- Alternátor,
- Ventilátory,
- Kompresor klimatizace...

A dále rotační hmoty mimo motor vozidla:

- Kola,
- Spojka,
- Hřídele...

Míra zatížení není definována absolutní velikostí setrvačných hmot motoru, ale polohou řídicího orgánu motoru, tedy akceleračního pedálu. [10, 17]

Výhodou oproti ostatním způsobům měření je, že dynamická metoda je poměrně nenáročná, levná, jednoduchá, odpadají problémy s chlazením motorů a vlastní měření je velmi rychlé. Při provádění měření je však třeba vzít v potaz několik věcí, které mají na samotné měření velký vliv. [19]

Největším problémem je neznalost velikosti rotačních hmot. Vliv těchto hmot se dá při měření na válcích snížit nastavením co největší setrvačné hmotnosti vozidla. Rotační hmoty nelze takto eliminovat zcela úplně, ale jen do určité míry. Při opakování měření s jinými disky kol, rozměry pneumatik, jiným klínovým řemenem a podobně, dojde ke změně výsledků, přestože se vlastní výkon motoru nijak nezměnil. Velikost rotačních hmot se mění i podle právě zařazeného rychlostního stupně. Při opakování měření při rozdílném rychlostním stupni tedy opět dojde ke změně výsledků. [19, 21]

Další problém, který se musí brát v potaz je skutečnost, že se motor nenachází v ustáleném stavu, následkem čehož ukazují měření provedená hned po sobě několik různých výsledků. Na vině jsou odeznívající přechodové stavy motoru. Tento problém je nejmarkantnější u turbodmychadly přeplňovaných motorů. Měření proběhne tak rychle, že turbodmychadlo nestihne řádně splnit svoji funkci, nebo nestihne zareagovat vůbec. Ve výsledcích měření se pak tedy vliv turbodmychadla vůbec neprojeví. Konečné výsledky se tedy upravují a vliv turbodmychadla na výkonové parametry se dopočítává. Zde pak může docházet k mystifikaci případného zákazníka nesprávnou úpravou naměřených veličin. Z tohoto důvodu by se mělo při měření docílit co nejmenšího zrychlení, jaké dovolují měřicí zařízení. [15, 19, 20, 21]

Během měření může docházet ke skluzům kol po válcích, které nejsou definované, čímž se zkreslí výsledky buď celého měření, nebo může dojít ke zkreslení jen části výkonové křivky. [19]

Právě z důvodů neustálených stavů motoru jsou naměřená maxima výkonu i točivého momentu zpravidla při jiných otáčkách, než při použití statické metody měření.

Při porovnávání více měření provedených různými technikami na různých brzdách mezi sebou je z výše napsaného zřejmé, že měření musí splňovat minimálně tato kritéria:

- stejný rychlostní stupeň,
- Stejný stav vozidla (disky, pneumatiky, huštění apod.),
- Stejný, nebo alespoň přibližně stejný čas akcelerace,
- Stejný způsob zpracování získaných dat.

Výsledná rovnice pro stanovení výkonu na kolech se započítanými rotačními hmotami vypadá následovně:

$$P_i = (m + m_r) \cdot \frac{v_{i+1} - v_i}{t_{i+1} - t_i} \cdot \frac{v_{i+1} + v_i}{2} \quad (2.15)$$

Kde:

m – hmotnost vozidla [kg]

m_r – hmotnost rotačních hmot [kg]

v_i – okamžitá rychlost [m/s]

t_i – čas záznamu [s]

2.7.5 Dynamické měření výkonu volnou akcelerací motoru

Tato metoda existuje od samotného počátku měření výkonových parametrů motoru. Dříve byla považována za čistě subjektivní a záleželo hlavně na zkušenostech mechanika. Dnes je její objektivita mnohem vyšší díky digitální elektronice a výpočetní technice, která je schopná monitorovat a vyhodnocovat i velmi rychlé dynamické děje. Výhodou je zjištění výkonu přímo na klikové hřídeli a ne výkonu na kolech. [10, 21, 22]

Pro použití je třeba znát pouze rotační hmoty motoru, tedy moment setrvačnosti. Ten je však ve většině případů neznámý a jeho zjištění je problematické viz Dynamické měření na válcové brzdě (kapitola 2.7.4). V praxi se tedy využívá spíše pro srovnání jednoho, či dvou motorů relativně vůči sobě. [19, 21]

Výhody této metody jsou, že odpadají korekce na přenos výkonu hnacím ústrojím, nedochází k prokluzu kol, ani k problémům s chlazením. Nevýhody jsou stejné, jako při dynamickém měření na válcové brzdě a pokud není motor vybaven omezovačem otáček, může dojít k jeho poškození přetočením. [19]

Rovnice pro výpočet výkonu na klikové hřídeli vypadá po převedení do diferenčního tvaru následovně:

$$P_e = I_0 \cdot 4\pi^2 \frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{n_1 + n_2}{2} \quad (2.16)$$

Kde:

I_0 – moment setrvačnosti pohybujících se hmot motoru redukováných na klikový hřídel [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

n – otáčky klikové hřídele [s]

3 Cíl práce

Cílem této práce je vytvoření metodického postupu měření výkonových parametrů osobních automobilů na válcové zkušebně. Konkrétně se jedná o vytvoření metodického postupu pro měření výkonu a točivého momentu automobilu pomocí statické a dynamické metody.

Ačkoliv jsou obě metody principiálně známé, jejich postup musí být upraven tak, aby vyhovoval pro použití na válcové zkušebně na katedře Vozidel a pozemní dopravy ČZU, která není nikterak normalizována a nejedná se o produkt sériové výroby. Cílem je tedy vytvoření dvou metodických postupů měření, včetně postupu vyhodnocení naměřených dat a ověření funkčnosti a použitelnosti těchto postupů pro konkrétní válcovou zkušebnu.

Dílčím cílem této práce je ověřit a případně poukázat na možnost ovlivnění výsledků měření výkonových parametrů, které by v praxi mohlo vést k udávání zavádějících výsledků v oblasti úprav a oprav automobilů.

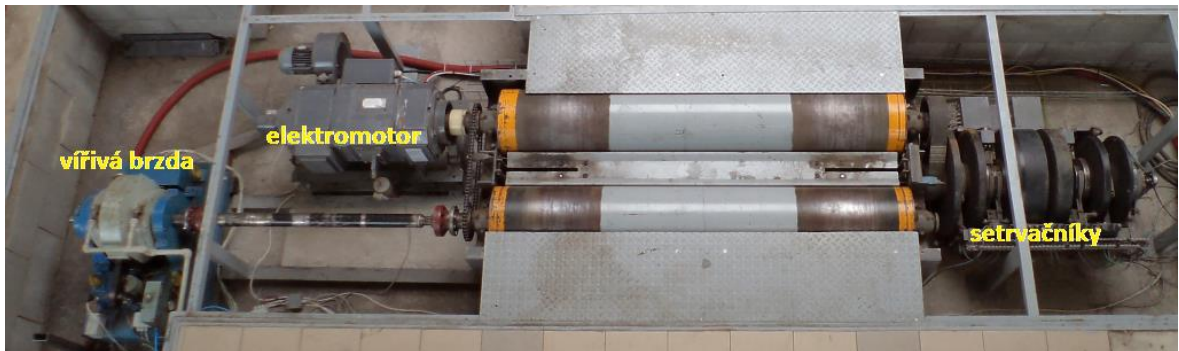
4 Metodika Práce

4.1 Válcová zkušebna na katedře Vozidel a pozemní dopravy

Jedná se o modernizovanou válcovou zkušebnu určenou pro homologaci vozidel do 3,5 t. Zkušebna byla vyrobena v roce 1983 firmou Schenck.

Uspořádání zkušebny je znázorněno na obrázku 11. Skládá se z 2 válců propojených řetězem, jeden válec je opatřen protiskluzovým povrchem pro zlepšení adhezních vlastností. K válcům je z pravé strany připojena sada připojitelných setrvačnicků, jež mají za úkol simulovat setrvačnou hmotnost vozidla. Z druhé strany jsou k válcům připojeny brzdové systémy. Na první válec je připojen stejnosměrný elektrický motor o výkonu 56 kW, který simuluje odporu vzduchu. K druhému válci je připojena vířivá brzda o výkonu 125 kW, jež slouží pro účely statického měření výkonu.

Obrázek 11 Uspořádání válcové zkušebny



Hlavní parametry motorgenerátoru, vířivého dynamometru, válců zkušebny a setrvačnicků jsou uvedeny v tabulce 2. Konkrétnější charakteristika instalovaného dynamometru je uvedena v tabulce 3.

Tabulka 2 Parametry jednotlivých součástí zkušebny

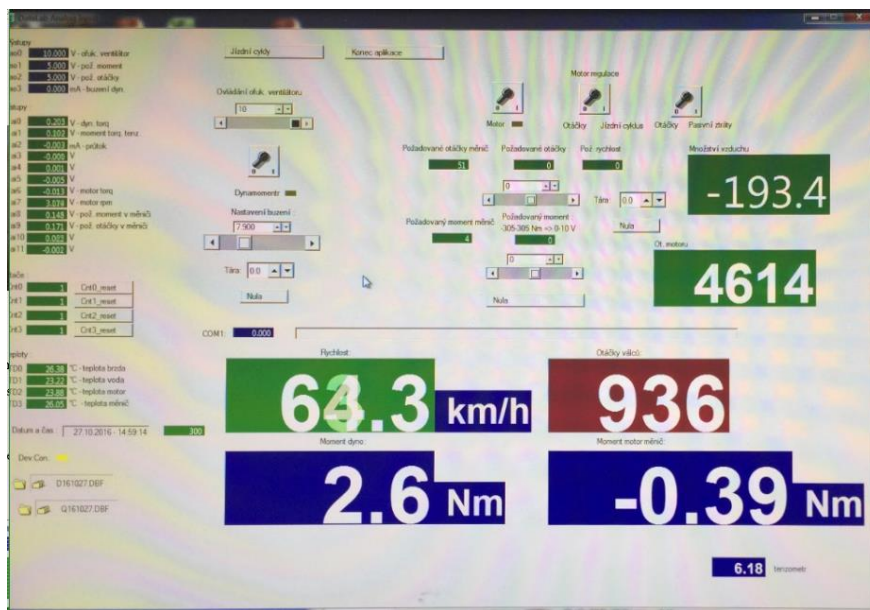
Parametry válcové zkušebny	
DC motorgenerátor	Maximální brzdňý výkon 56 kW Maximální brzdňý moment 305 Nm Maximální otáčky 3000 min ⁻¹
Vířivý dynamometr	Maximální brzdňý výkon 125 kW Maximální brzdňý moment 478 Nm Maximální otáčky 8000 min ⁻¹
Válce zkušebny	Dva válce umístěny v páru, které slouží k přenosu energie mezi koly vozidla a zkušebnou Obvod válců 1145 mm
Setrvačníky zkušebny	Základní simulovaná hmotnost 680 kg Přídavné hmotnosti: 900 kg, 450 kg, 225 kg, 120 kg, 112,5 kg.

Tabulka 3 Parametry vířivého dynamometru

Typ	V125
Provedení	IP23/ICW37
Otáčky (1/min)	300 - 2500 – 8000
Točivý moment (Nm)	134 - 478 - 149,5
Výkon (kW)	4,2 - 125 – 125
Průtok vody (l/s)	0,9
Budící napětí (V)	91
Budící proud (A)	1,7
Tlak vody (kPa)	90
Hmotnost (kg)	550
ČSN	350 000
Rok výroby	1986

Celá válcová zkušebna je ovládána pomocí elektronického systému Datalab od firmy Moravské přístroje a.s., kde byl vytvořen v programovém prostředí ControlWeb vlastní ovládací program. Pomocí programu je celé pracoviště ovládáno a zároveň se systém také stará o automatický sběr dat. Ukázka rozhraní tohoto programu je znázorněno na obrázku 12.

Obrázek 12 Programové rozhraní programu Datalab



Pro komunikaci s řídicí jednotkou motoru je využíváno diagnostického systému VAG-COM, který je znázorněn na obrázku 13. Tento systém umožňuje průběžné ukládání až 3 bloků dat (12 hodnot). Systém se skládá z datového kabelu – interface, zakončený na jedné straně standardizovanou diagnostickou zástrčkou OBD-2 a na straně druhé rozhraním USB. Dále je součástí systému programové vybavení v podobě programu VCDS (Vag-com diagnostic system).

Obrázek 13 Diagnostický systém VAG-COM



4.2 Metodika statického měření výkonových parametrů

Princip měření spočívá ve změření výkonových parametrů na kolech vozidla, které se následně přepočítají, abychom získali výkonové parametry motoru.

Změření výkonových parametrů na kolech vozidla se skládá z následujících kroků:

1. Kontrola tlaku v pneumatikách.
2. Umístění vozidla na válcový dynamometr a zabezpečení proti případnému vyjetí.
3. Zahřátí motoru vozidla na provozní teplotu.
4. Zvolení převodového stupně, na který se bude měření provádět.
5. Změření převodového poměru.
6. Změření pasivních ztrát.
7. Měření výkonových parametrů.
8. Vyhodnocení naměřených dat.

1) V prvním kroku se změří tlak v pneumatikách. Pro snížení parazitních ztrát se pneumatiky přehustí o cca 50 %. Nesmí ale při tomto přehuštění překročit maximální přípustné huštění uvedené na pneumatice. Přípustné huštění bývá často uváděno v jednotkách PSI (libra síly na čtverečný palec). Přepočítání na kPa je následující – 1 PSI = 6,895 kPa.

2) Ve druhém kroku se vozidlo umístí na válcový dynamometr a zajistí se proti náhodnému vyjetí z dynamometru. Při umístění vozidla na dynamometr je ideální vozidlo umístit tak, aby osa vozidla byla totožná s osou zkušebny. Zajištění vozidla proti vyjetí zajišťuje uchycení vozidla za vlečné oko dvěma jisticími pásy, které jsou uchycené za kotvící úchyty válcové zkušebny. Po zajištění vozidla se před vozidlo nastaví chladič ventilátor.

3) Zahřátí motoru na provozní teplotu se provede jednoduše buď během jízdy vozidla cestou na válcovou zkušebnu, nebo již při samotné přípravě na měření. Pokud vozidlo není zahřáté z jízdy na pracoviště, můžeme proces zahřátí na provozní teplotu provést tím, že vozidlo na válcih rozjedeme, aniž bychom uměle zvyšovali odpor válců zkušebny.

4) Čtvrtým krokem je zvolení převodového stupně, na který se bude měření provádět. Volba je výsledkem kompromisu mezi maximální dosažitelnou rychlostí na válcové brzdě, tedy konstrukční omezení brzdy a velikostí přenášených sil, neboť při nízkém rychlostním stupni mohou mít kola vozidla tendenci prokluzovat, což ovlivňuje výsledky. V úvahu se musí vzít i maximální točivý moment, který je dynamometr schopen vyvinout a zda je tedy schopen vozidlo při zkoušení ubrzdít do požadovaných otáček.

V případě, že není známo, jaké rychlosti je vozidlo schopno dosáhnout na uvažovaný převodový stupeň, dá se to ověřit rozjetím vozidla na válcih a podle toho určit, zda zvolit vyšší, či naopak nižší převodový stupeň. Proto je tento krok zařazen jako čtvrtý, neboť po provedení předchozích kroků je vozidlo připraveno pro jízdu na zkušebních válcih.

5) Pátým krokem je stanovení převodového poměru mezi otáčkami válců zkušebny a otáčkami motoru vozidla. Do poměru jsou dány otáčky motoru vozidla, měřené externím čidlem a otáčky válců zkušebny měřené inkrementálním čidlem. Pro měření otáček motoru se použití diagnostické zásuvky OBD jeví jako nejvhodnější díky jednoduchosti při využití moderní techniky.

Výpočet převodového poměru se provede podle vzorce 4.1:

$$i_c = \frac{n_m}{n_v} \quad (4.1)$$

Kde:

i_c – celkový převodový poměr [-]

n_m – otáčky spalovacího motoru [1/min]

n_v – otáčky válců zkušebny [1/min]

6) V šestém kroku se změří pasivní ztráty. Motor automobilu není v chodu a je zařazen neutrál. Kola vozidla jsou roztáčena válci zkušebny, které roztáčí elektromotor na požadovanou rychlost a je zaznamenávám točivý moment elektromotoru, který je pro roztočení válců potřeba. Tento moment představuje odpory, které musí motor překonat, aby vozidlo zůstalo v ustáleném stavu při konstantní rychlosti.

7) Měření výkonu a točivého momentu probíhá dle principu pospaném v kapitole 2,7,3.

Veškerá data z probíhajícího měření jsou zaznamenána do počítače a uložena v programu Microsoft Excel. Tento program byl zvolen pro jeho rozšířenost, dostupnost a následné možnosti zpracování a úprav naměřených dat.

Po naměření dat nastává proces jejich zpracování. Tento proces je označen jako krok 8 a je rozdělen do dílčích kroků:

1. Zjistit závislost rychlosti a pasivních ztrát, tedy závislost Pas._ztráty = f (rychlost).
2. Přepočítat otáčky motoru pomocí převodového poměru a známých otáček válců.
3. Změřený moment dynamometrem přepočítat na točivý moment motoru.
4. Stanovit hodnotu pas. ztrát na základě okamžité rychlosti.
5. Stanovit celkový točivý moment motoru.
6. Vypočítat výkon motoru.
7. Vytvořit závislost točivého momentu a výkonu na otáčkách motoru.

2) Přepočet se provede podle vzorce 4.2:

$$n_m = n_v \cdot i \quad (4.2)$$

Kde:

n_m – otáčky motoru [1/min]

i – celkový převodový poměr [-]

n_v – otáčky válců zkušebny [1/min]

3) Točivý moment motoru se spočítá dle rovnice 4.3:

$$M_m = \frac{M_D}{i} \quad (4.3)$$

Kde:

M_m – točivý moment motoru [Nm]

M_D – točivý moment dynamometru [Nm]

i – celkový převodový poměr [-]

5) Celkový točivý moment motoru se stanoví součtem točivého momentu motoru stanoveném v kroku 3 a ztrátového momentu stanoveném v kroku 4. Rovnice 4.3 pro výpočet celkového točivého momentu tedy vypadá následovně:

$$M_t = M_m + M_z \quad (4.3)$$

Kde:

M_t – celkový točivý moment motoru [Nm]

M_m – točivý moment motoru [Nm]

M_z – ztrátový moment [Nm]

4.3 Měření výkonových parametrů dynamickou metodou

Metodika měření výkonových parametrů spalovacího motoru osobního automobilu dynamickou metodou se skládá z osmi kroků. Řidič vozidla při tomto měření má jen malou roli, neboť se od něj požaduje jen obsluha akceleračního pedálu.

Sedm kroků pro měření výkonových parametrů dynamickou metodou je následujících:

1. Kontrola tlaku v pneumatikách.
2. Umístění vozidla na válcový dynamometr a zabezpečení proti případnému vyjetí.
3. Zahřátí vozidla na provozní teplotu.
4. Zvolení převodového stupně, na který se bude měření provádět.
5. Stanovení celkového převodového poměru.
6. Měření výkonových parametrů.
7. Stanovení setrvačných hmot vozidla a válců zkušebny.
8. Vyhodnocení naměřených dat.

Provedení prvních třech kroků je shodné se statickou metodou měření výkonových parametrů na válcové zkušebně, popsané v kapitole 4.2.

4) Ve čtvrtém kroku, čímž je zvolení převodového stupně, je v případě provádění dynamické metody jediným omezujícím faktorem maximální dosažená rychlost, neboť i při zařazení nejvyššího převodového stupně, což by znamenalo prodloužení doby měření, bude doba měření mnohem kratší oproti statické metodě. Při zvolení nejvyššího převodového stupně by však automobil dosahoval na válcích nebezpečně vysoké rychlosti.

5) Způsob stanovení celkového převodového poměru je principiálně totožný se stanovením celkového převodového poměru v pátém kroku metodiky pro statické měření.

Po naměření dat nastává proces jejich zpracování. Tento proces je označen jako krok 8 a je rozdělen do dílčích kroků:

1. Stanovit moment setrvačnosti.
2. Vypočítat úhlovou rychlost a úhlové zrychlení válců zkušebny.
3. Přepočítat otáčky motoru pomocí převodového poměru a známých otáček válců.
4. Vypočítat točivý moment motoru.
5. Vypočítat výkon motoru.
6. Vytvořit závislost točivého momentu a výkonu na otáčkách motoru.

1) Pro stanovení momentu setrvačnosti se využije vzorec 2.7, upravený do podoby vzorce 4.4.

$$I = \frac{M}{\epsilon} \quad (4.4)$$

kde:

I – moment setrvačnosti pohybujících se hmot motoru redukováných na klikový hřídel [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

ϵ - úhlové zrychlení klikového hřídele motoru [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$]

2) Přepočet se provede stejně jako u statické metody podle vzorce 4.2.

3) Úhlová rychlost se při známé hodnotě otáček válců vypočítá pomocí vzorce 4.5. Úhlové zrychlení se vypočítá pomocí vzorce 4.6 jako rozdíl úhlových rychlostí.

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_v}{60} \quad (4.5)$$

Kde:

n_v – otáčky válců zkušebny [min^{-1}]

$$\varepsilon = \omega_{i+1} - \omega_i \quad (4.6)$$

Kde:

ω_i – okamžitá úhlová rychlost

4) Točivý moment se vypočítá pomocí vzorce 2.7.

5) Výkon motoru se vypočítá stejným způsobem jako u statické metody pomocí vzorce 5.2.

Měření probíhá na druhý, nebo případně na třetí převodový stupeň. Výběr záleží na konstrukci zkušebny, neboť při třetím převodovém stupni mohou vozidla na válcích dosahovat rychlosti přes 100 km/h.

5 Výsledky

5.1 Ford Fiesta

Zkoušené vozidlo bylo Ford Fiesta 1.25 Duratec se zážehovým motorem, rok výroby 2011, počet ujetých kilometrů 34 205. Vozidlo bylo zkoušeno jak statickou metodou, tak metodou dynamickou na válcové zkušebně ČZU. Provedeno bylo všech 8 kroků, které udává metodika pro obě použité metody.

Výrobce udávané parametry pro zkoušenou motorizaci jsou na obrázku 19. Jedná se o nejslabší, tedy prodávanou motorizaci tohoto automobilu. Během měření nedošlo k žádným problémům, které by ovlivnily výsledky měření. Měření probíhalo za standardních atmosférických podmínek.

5.1.1 Statická metoda

Měření výkonu vozu Ford Fiesta a následné zpracování dat proběhlo dle výše zmíněné metodiky. Následující odstavce blíže popisují jednotlivé kroky, provedené při měření tohoto vozu, v posloupnosti odpovídající pořadí jednotlivých kroků zvolené metodiky.

- 1) Kontrola tlaku v pneumatikách a jejich přehustění.

Zkoušený automobil má pohon přední nápravy. Provedeno tedy bylo přehustění jen předních pneumatik na hodnotu 250 kPa.

- 2) Umístění vozidla na válcový dynamometr a zabezpečení proti případnému vyjetí.

Po umístění a zajištění vozidla se před vozidlo postavil chladicí ventilátor tak, aby proud vzduchu tímto ventilátorem vyvinutý, co nejlépe chladil vozidlo. Ventilátor u této zkušebny je mobilní, jeho optimální poloha se tedy dá snadno nastavit. Umístění a uchycení vozidla, včetně polohy ventilátoru, ukazuje obrázek 14. Na obrázku je také vidět konstrukce s monitorem, která slouží k informování řidiče o průběhu měření a aktuálních hodnotách.

Obrázek 14 Umístění vozidla před zahájením měření



3) Zahřátí motoru vozidla na provozní teplotu.

V tomto případě bylo vozidlo již zahřáté jízdou na válcovou zkušebnu pro provedení měření. Na válcích bylo ponecháno již nastartované, než se zajistilo a nastavil se ventilátor. Dodatečné zahřátí motoru vozidla na provozní teplotu tedy nebylo potřeba.

4) Zvolení převodového stupně, na který se bude měření provádět.

Pokud má zkoušející přehled o dosahovaných rychlostech daného vozidla, může převodový stupeň zvolit ještě před prvním krokem. V tomto případě byl zvolen třetí převodový stupeň a dosaženo bylo maximální rychlosti 131 km/h.

5) Změření převodového poměru.

Při tomto měření byl pro snímání otáček využit notebook, připojený přes zásuvku OBD. Záznam otáček probíhal tak, že se motor vytočil do požadovaných otáček, na těchto otáčkách se ustálil a z notebooku propojeným s OBD se zaznamenaly otáčky motoru. Z monitoru před vozidlem se zaznamenaly otáčky válců zkušebny.

Obrázek 15 Stanovení celkového převodového poměru Ford Fiesta

válce	motor	Převodový poměr
580	1926	3,32
683	2260	3,31
880	2924	3,32
1020	3373	3,31
1250	4110	3,29
Celkový převodový poměr		3,31

6) Změření pasivních ztrát.

Rychlost otáčení válců byla zvyšována po dvaceti kilometrech za hodinu. V tomto případě bylo určeno, že se vozidlo pomocí válců zkušebny rozjede na 120 km/h.

7) Měření výkonových parametrů.

V sedmém kroku proběhlo vlastní měření výkonových parametrů, konkrétně točivého momentu. Vozidlo rozjelo na zvolený převodový stupeň a motor se vytočil do maximálních otáček. V tu chvíli se vozidlu začal klást odpor pomocí zvyšování momentu válců zkušebny. Moment válců zkušebny byl plynule navyšován, čímž došlo k zvyšování zatížení motoru a následnému poklesu otáček. Zatížení se zvyšovalo až do chvíle, kdy otáčky motoru klesly na předem stanovenou hodnotu.

Při tomto měření bylo rozhodnuto, že se vůz vytočí do maximálních otáček a brzděno bude až na hodnotu 1265/min. Výrobce udává maximální hodnotu výkonu v 6000 otáčkách za minutu. Dle technických údajů jsou maximální otáčky motoru 6500/min. V tu chvíli zasáhne regulátor otáček. Při měření však bylo dosaženo jen 6330/min.

Po provedení měření a získání dat, bylo provedeno jejich vyhodnocení v programu Microsoft Excel. Toto vyhodnocení je v metodice měření označeno jako osmý krok a skládá se ze sedmi dílčích kroků vyhodnocení naměřených dat.

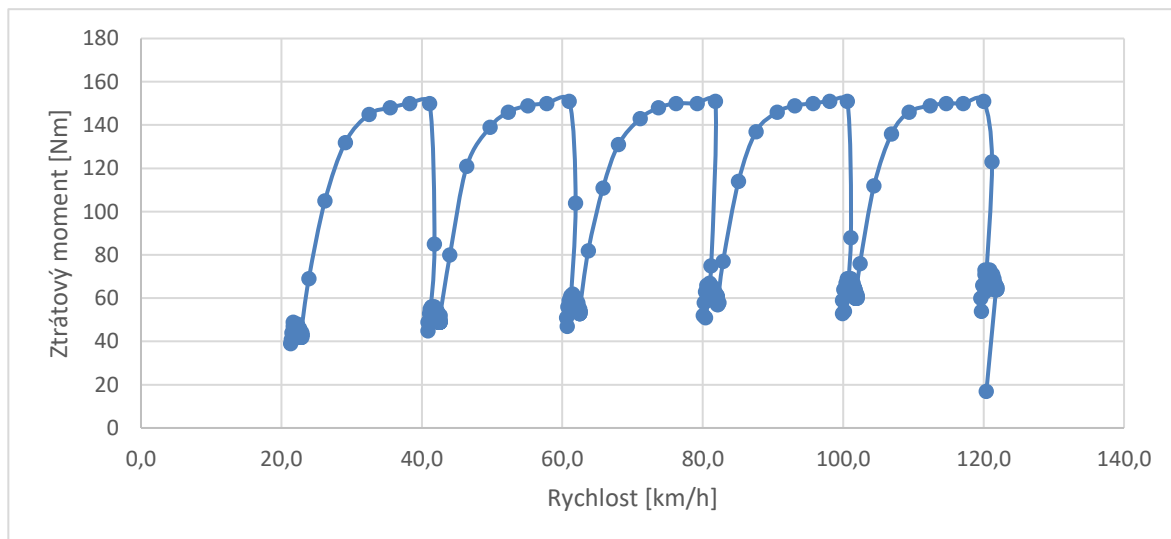
1) Zjištění závislosti pasivních ztrát na rychlosti.

Zjištění závislosti spočívá ve zjištění průměrných hodnot pasivních ztrát pro průměrné hodnoty rychlostí. Tyto hodnoty se vynesou do grafu a proloží se spojnicí trendu. Stanovení průměrných hodnot se provede v programu Microsoft Excel z naměřených dat točivého momentu válců zkušebny a jejich rychlosti, která odpovídá rychlosti vozidla.

Naměřená data mají sinusový průběh. To je způsobeno nárůstem točivého momentu válců zkušebny, aby došlo k akceleraci vozidla na požadovanou rychlost. Při dosažení požadované rychlosti točivý moment klesá na hodnotu potřebnou pro udržení této rychlosti. Hodnoty točivého momentu pro udržení požadované rychlosti jsou zjišťované hodnoty pasivních ztrát.

Při průměrování hodnot je tedy potřeba nezahrnout hodnoty točivého momentu při akceleraci válců zkušebny, ale jen hodnoty točivého momentu při ustálené rychlosti. Průběh točivého momentu při měření pasivních ztrát a tabulka výsledných průměrných hodnot jsou zobrazeny na obrázku 16 a tabulce 4.

Obrázek 16 Průběh točivého momentu válců zkušebny při měření pasivních ztrát Ford Fiesta

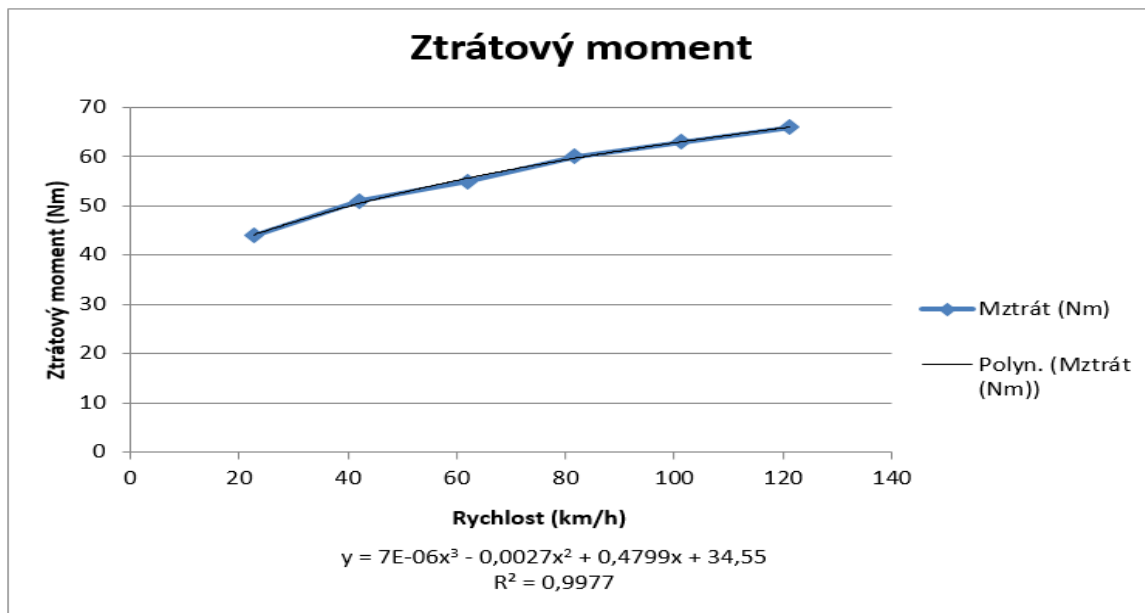


Tabulka 4 Průměrné hodnoty pasivních ztrát Ford Fiesta

pasivní odpory	
rychlost (km/h)	Mztrát (Nm)
22,7	44,0
42,2	51,0
62,1	55,0
81,7	60,0
101,4	63,0
121,3	66,0

Data z tabulky 4 jsou vynesena v grafu a proložena spojnicí trendu. Jako optimální se dle koeficientu determinace jeví použít polynom třetího řádu. Z rovnice grafu získáme požadovanou závislost pasivních ztrát na rychlosti. Výsledný graf a rovnice jsou znázorněny na obrázku 17.

Obrázek 17 Závislost pasivních ztrát na rychlosti



2) Přepočítání otáček válců na otáčky motoru.

Přepočet se provede podle vzorce 4.2.

3) Přepočítání momentu dynamometru na točivý moment motoru.

Točivý moment motoru se spočítá dle rovnice 4.3.

4) Stanovení hodnot pasivních ztrát na základě okamžité rychlosti.

Ztrátový moment způsobený pasivními ztrátami se stanoví dosazením do rovnice závislosti pasivních ztrát, kde proměnná x je okamžitá rychlost změřená válcovou zkušebnou.

Celá rovnice se poté vydělí celkovým převodovým poměrem zjištěným v pátém kroku metodiky měření, viz obrázek 15. Rovnice závislosti pasivních ztrát na rychlosti je zobrazena na obrázku 17, pod vodorovnou osou. V tomto případě se ztrátový moment motoru stanoví podle rovnice 5.1. Závislost pasivních ztrát na rychlosti je u každého vozidla jiná, proto i tvar této rovnice bude vycházet pro různé automobily odlišně.

$$M_z = \frac{7 \cdot 10^{-6} x^3 - 0,0027 x^2 + 0,4799 x + 34,55}{i} \quad (5.1)$$

Kde:

x – okamžitá rychlost [km/h]

i – celkový převodový poměr [–]

5) Stanovení celkového točivého momentu.

Celkový točivý moment motoru se stanoví součtem jednotlivých hodnot točivého momentu motoru stanoveným v kroku 3 a ztrátového momentu stanoveném v kroku 4.

6) Vypočítání výkonu motoru.

Při již známém točivém momentu motoru automobilu a známých otáčkách lze výkon motoru automobilu spočítat pomocí rovnice 2.11. V tomto případě, aby výsledný výkon vyšel přímo v kilowattech, je tato rovnice upravena.

Výsledným tvarem upravené rovnice 2.11 je rovnice 5.2:

$$P = \frac{M_t \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_m}{60 \cdot 1000} \quad (5.2)$$

Kde:

M_t – celkový točivý moment motoru [Nm]

n_m – otáčky motoru [1/min]

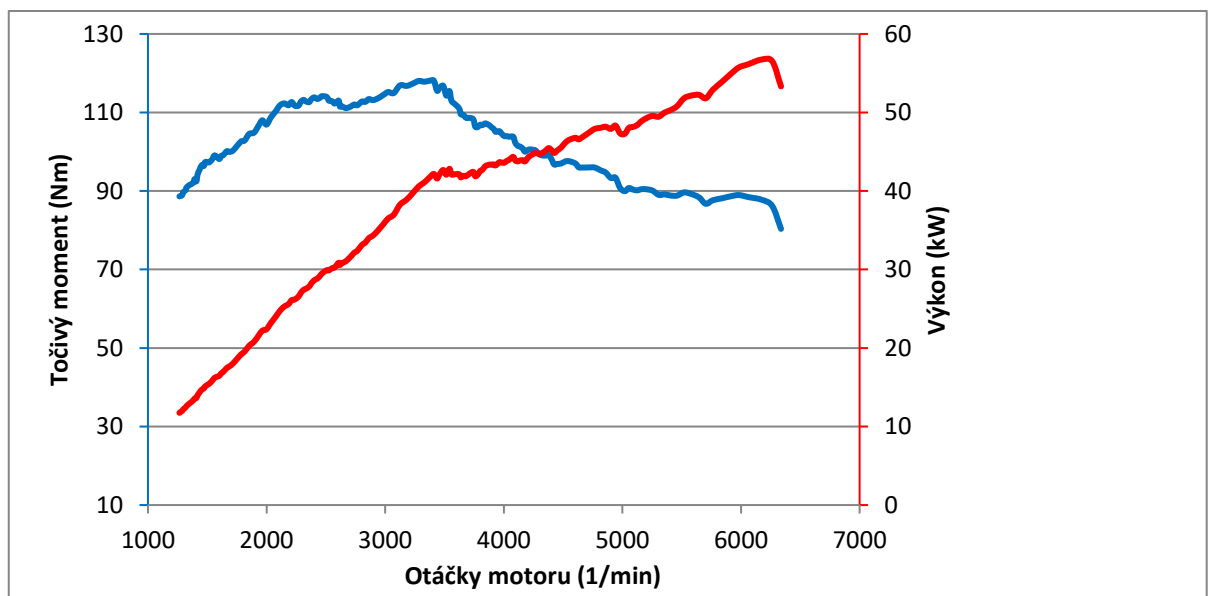
7) Vytvoření závislosti točivého momentu a výkonu na otáčkách motoru.

Pomocí programu Microsoft Excel se vytvoří vnější otáčková charakteristika zkoušeného motoru. Výstupem tedy je závislost výkonu a točivého momentu zkoušeného motoru, spočítaná v pátém a šestém kroku rovnicemi 4.3, 5.1 a 5.2, v závislosti na otáčkách motoru, spočítaných v druhém kroku rovnicí 4.2.

5.1.1.1 Dílčí závěr

Výsledkem zpracování naměřených dat, je vnější otáčková charakteristika motoru vozidla Ford Fiesta 1.25, zjištěna statickou metodou. Tato charakteristika je znázorněna na obrázku 18. Maximální výkon 57 kW byl naměřen při 6172 otáčkách za minutu a maximální točivý moment 118 Nm při 3379 otáčkách za minutu. Hodnoty uváděné výrobcem jsou zobrazeny na obrázku 19.

Obrázek 18 Vnější otáčková charakteristika – statická metoda Ford Fiesta



Obrázek 19 Výkonové parametry udávané výrobcem

Model	1.25 Duratec
Druh motoru	Zážehový
Vrtání a zdvih	71,9 x 76,5
Počet válců / ventilů	4/16
Objem [cm ³]	1242
Největší výkon [kW/min-1]	44/6000
Největší točivý moment [Nm]	109/3600

Zdroj: <http://auto.kataloge.cz/ford-fiesta-2.php>

V tomto případě výkonové parametry motoru naměřené statickou metodou vyšly vyšší, než udává výrobce. Jedním s možných vysvětlení je, že výrobce v dokumentaci k vozidlu udává nejnižší garantovaný výkon daného motoru, je tedy možné při následném měření naměřit hodnoty lehce vyšší. V tomto případě to však není jediným důvodem rozdílu naměřených hodnot oproti hodnotám od výrobce.

V tomto případě mohly být hodnoty navýšeny kvůli metodice měření, protože brzdňý moment na válcích zkušebny byl navyšován plynule a ne skokově na předem stanovené hodnoty a nečekalo se na ustálení. Do výsledných hodnot se tedy promítla i setrvačnost válců zkušebny, která navýšila finální výkonové parametry motoru. Hlavně v tomto spatřuje autor největší vliv na výsledky měření.

Při měření byly lehce překročeny otáčky motoru, pro které udává výrobce hodnotu výkonu, což výsledný maximální výkon také navýšilo kvůli závislosti mezi otáčkami motoru a výsledným výkonem.

5.1.2 Dynamická metoda

1) Kontrola tlaku v pneumatikách.

Přehušnění pneumatik bylo ponecháno na 250 kPa.

2) Umístění vozidla na válcový dynamometr a zabezpečení proti případnému vyjetí.

Umístění a zajištění vozidla při použití dynamické metody bylo totožné s umístěním a zajištěním vozidla při použití statické metody a je též znázorněno na obrázku 14.

3) Zahřátí vozidla na provozní teplotu.

Protože dynamické měření proběhlo po provedení statického, nebyl motor na pár minut v chodu, aby došlo k poklesu jeho teploty a zabránilo se případnému překročení provozní teploty motoru při provedení dynamického měření.

4) Zvolení převodového stupně, na který se bude měření provádět.

Pro dynamické měření byl zvolen třetí převodový stupeň a bylo dosaženo rychlosti vozidla 125 km/h.

5) Stanovení celkového převodového poměru.

Převodový poměr byl stanoven stejným postupem jako u statické metody v kapitole 5.1.1 a jeho výpočet opět proběhl pomocí vzorce 4.1. Výsledný převodový je znázorněn na obrázku 15.

6) Měření výkonových parametrů.

V šestém kroku došlo k vlastnímu měření. Princip spočíval ve změření průběhu zrychlení válců zkušebny při plné dávce paliva na zvolený převodový stupeň.

Vozidlo se rozjelo a zařadil se 3. převodový stupeň. Poté došlo k ustálení na volnoběžné otáčky při zvoleném převodovém stupni. Jakmile byly volnoběžné otáčky ustálené, sešlápl se akcelerační pedál do maximální polohy. V tuto dobu byl motor plně zatížen a probíhá akcelerace z volnoběžných otáček až do otáček maximálních.

Po dosažení maximálních otáček byl zařazen nejvyšší převodový stupeň a motor byl brzděn jak válcí zkušebny, tak i přes zařazený převodový stupeň. V tomto případě byl motor vytočen do 6000 otáček, poté byl zařazen pátý převodový stupeň a proběhla decelerace, až do volnoběžných otáček.

7) Stanovení setrvačných hmot vozidla a válců zkušebny.

V sedmém kroku došlo ke změření setrvačných hmot vozidla. Z těchto dat byl poté spočítán moment setrvačnosti. Motor vozidla nebyl v chodu a byl zařazen neutrál.

Kola vozidla byla roztáčena válci zkušebny. Válce byly poháněny elektromotorem, na němž byl pevně stanoven požadovaný točivý moment, kterým byly válce zkušebny roztáčeny.

Jako hodnota požadovaného točivého momentu bylo zvoleno 150 Nm.

Po provedení měření a získání dat, bylo provedeno jejich vyhodnocení v programu Microsoft Excel. Toto vyhodnocení je v metodice měření označeno jako osmý krok a skládá se ze šesti dílčích kroků vyhodnocení naměřených dat.

1) Stanovení momentu setrvačnosti.

Při měření byly připojeny všechny přídatné setrvačníky. Z naměřených hodnot otáček válců zkušebny se pomocí vzorce 4.5 vypočítaly hodnoty úhlových rychlostí, z nichž následně byly spočteny hodnoty úhlového zrychlení pomocí vzorce 4.6. Pro stanovení momentu setrvačnosti při známé, konstantní hodnotě točivého momentu a vypočítaných hodnot zrychlení byl použit vzorec 4.4.

Výsledný moment setrvačnosti vyšel v tomto případě 119,9 kg · m².

2) Výpočet úhlové rychlosti a úhlového zrychlení válců zkušebny.

Výpočet úhlových rychlostí a zrychlení válců zkušebny proběhl obdobně, jako při stanovení momentu setrvačnosti.

3) Přepočítání otáček válců na otáčky motoru.

Otáčky motoru byly vypočteny pomocí otáček válců a celkového převodového poměru dle vzorce 4.2.

4) Výpočet točivého momentu motoru.

Točivý moment se vypočítal pomocí vzorce 2.7. Výsledné hodnoty byly vyděleny celkovým převodovým poměrem. Tímto způsobem byly hodnoty spočítané na kolech vozidla převedeny na hodnoty točivého momentu motoru vozidla. Vzhledem k tomu, že před provedením dynamického měření bylo již provedeno statické měření, byla použita hodnota celkového převodového poměru zjištěného při provádění statické metody.

5) Výpočet výkonu motoru.

Výkon motoru se vypočítal stejným způsobem jako u statické metody pomocí vzorce 5.2.

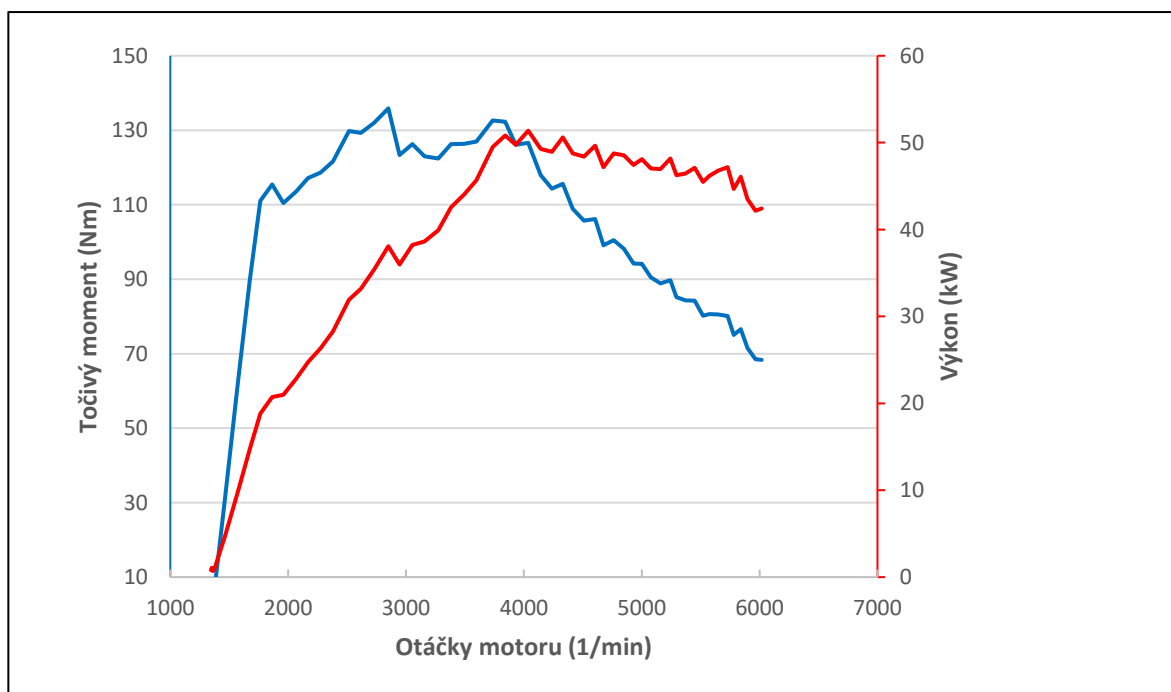
6) Vytvoření závislosti točivého momentu a výkonu na otáčkách motoru.

Z hodnot zjištěných v krocích 3, 4 a 5 byla sestavena vnější otáčková charakteristika zkoušeného motoru.

5.1.2.1 Dílčí závěr

Výsledkem měření výkonových parametrů je vnější otáčková charakteristika motoru vozidla Ford Fiesta 1.25, zjištěna dynamickou metodou. Tato charakteristika je znázorněna na obrázku 20. Maximální výkon 62 kW byl naměřen při 3735 otáčkách za minutu a maximální točivý moment 158 Nm při 2516 otáčkách za minutu. Pro porovnání s hodnotami uváděnými výrobcem je k dispozici obrázek 19.

Obrázek 20 Vnější otáčková charakteristika – dynamická metoda Ford Fiesta



V tomto případě byl pro zobrazení výsledného průběhu výkonu a točivého momentu použit klouzavý průměr přes čtyři hodnoty.

Hodnoty točivého momentu jsou u dynamické metody oproti statické vyšší. Průběh je téměř totožný, ale v rozmezí otáček je posunutý do oblasti vyšších otáček. Jednou z možných příčin vyšších hodnot jsou dvě výrazné hodnotové odchylky v oblasti otáček kolem 3000 a 4000 ot/min, které posouvají celkový průběh do vyšších hodnot. Tyto odchylky jsou způsobeny velkým rozdílem hodnot otáček válců zkušebny mezi jednotlivými záznamy změn otáček válců zkušebny. Možnou příčinou může být nedostačující otáčkové čidlo, které není schopné dostatečně rychle snímat otáčky válců zkušebny v oblasti nejvyššího točivého momentu motoru a tedy i největších a nejrychlejších změn zrychlení otáček motoru, potažmo otáček válců zkušebny. V oblasti vyšších otáček, kde již dochází k poklesu hodnot točivého momentu je otáčkové čidlo schopno dostatečně rychle snímat otáčky válců zkušebny a výsledné hodnoty i průběh je podobný výsledku statické metody.

6 Diskuze

Předkládaná práce vznikla za účelem stanovení metodiky pro měření výkonu osobních vozidel na válcové zkušebně. Během zpracování vyšlo najevo, že sestavení univerzální metodiky pro všechny válcové zkušebny je značně problematické, vzhledem k rozdílným konstrukcím a možnostem jednotlivých zkušeben. Dalo by se říct, že pro každou zkušebnu se musí sestavit metodika lehce odlišná.

Samozřejmě u normalizovaných zkušeben, vyráběných například společností MAHA nebo MOTOCOMTEST je i metodika měření na těchto zkušebnách daná výrobcem. Situace u homologačních zkušeben je úplně jiná, neboť tam musí být všechny homologační zkušebny stejné a metodika je u těchto zkušeben pevně stanovena. Běžný zákazník se však na homologační zkušebnu se svým vozem nedostane, a pokud chce zjistit výkonové parametry svého vozu, musí využít služeb společností zabývajících se úpravou aut, které disponují i válcovou zkušebnou.

Zde může nastat problém, na který by autor rád upozornil. Zákazník zpravidla nebývá u provádění a vyhodnocování měření přítomen. Ve většině případů z důvodu bezpečnosti. Neví tedy nic o tom, jak měření probíhá a hlavně, jak vypadá následné zpracování naměřených dat. V oblasti zpracování naměřených dat je totiž poměrně jednoduché výsledné hodnoty tzv. upravit k obrazu svému.

Pokud není zákazník v měření výkonu vozidel na válcové zkušebně a obecně v úpravách výkonu vozidel zběhlý, může se stát obětí společností, které například garantují procentuální nárůst výkonu po jimi provedené úpravě. Pokud následně vozidlo nedosahuje požadovaných výsledků, naměřená data se upraví a zákazník dostává protokol z měření, na kterém je vše v pořádku. Ve skutečnosti však může být výsledný výkon nebo točivý moment vozidla odlišný.

Pravděpodobně nejjednodušší případ tohoto problému je tzv. zkrácení akceleračního pedálu. Pedál po této úpravě zabírá na 100% již třeba od sešlápnutí do poloviny jeho dráhy. Vozidlo tedy působí na řidiče svižnějším dojmem, přičemž nedošlo k úpravě výkonu nebo točivého momentu. Tyto hodnoty se následně upraví při měření na válcové zkušebně a zákazník spokojeně zaplatí za úpravu motoru, která neproběhla.

7 Závěr

Diplomová práce se zabývala problematikou měření výkonových parametrů osobních automobilů na válcové zkušebně při využití statické a dynamické metody. V teoretické části byly popsány veličiny spojené s měřením výkonových parametrů automobilů. Dále byla popsána problematika stanovení výkonových parametrů a výhody a nevýhody dnes používaných metod.

Stěžejní část práce byla věnována návrhu a praktickému ověření metodiky měření výkonových parametrů statickou a dynamickou metodou na válcové zkušebně na katedře Vozidel a pozemní dopravy ČZU. Po navržení a ověření byly vyvozeny následující závěry.

Statická metoda měření výkonových parametrů, kdy se měří moment odebraný od kol vozidla, je ovlivněna metodou zatěžování vozidla. Do výsledných hodnot se promítla setrvačnost válců zkušebny, která navýšila finální výkonové parametry motoru. Pro zpřesnění výsledků autor doporučuje skokově zvětšovat zátěž vozidla během měření. Výsledky zjištěné touto metodou jsou prokazatelné a dobře opakovatelné.

Dynamická metoda, kdy se měří zrychlení válců zkušebny, je ovlivněna nedostatečně rychlým snímáním dat. Při snímání otáček válců zkušebny dochází k velkým hodnotovým skokům mezi jednotlivými záznamy, což má za následek zvýšené výsledné hodnoty výkonu i točivého momentu. Pro zpřesnění výsledných hodnot autor doporučuje pořídit nové otáčkové čidlo, které bude schopné snímat data s vyšší frekvencí.

Seznam literatury

- [1] VLK, F, Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0
- [2] KŘEPELKA V., KAMEŠ J., Traktory a automobily I, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 1982
- [3] MACEK J., Spalovací motory I, ČVUT, Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
- [4] Vozidlová zkušebna. [online]. [cit. 2016-01-29] dostupné z [www.http://zkusebna.wz.cz/vykon.htm](http://zkusebna.wz.cz/vykon.htm)
- [5] VLK F., Diagnostika motorových vozidel, Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno, 2006, ISBN 80-239-7064-X
- [6] Fyzweb. [online]. [cit. 2016-02-18] dostupné z <http://fyzweb.cz/materialy/sily/moment/podr.php>
- [7] AutoRevue. Točivý moment versus výkon. [online]. [cit. 2016-02-18] dostupné z http://www.autorevue.cz/jak-to-funguje-tocivy-moment-versus-vykon-teorie_2
- [8] ČSN ISO 80000-4 Veličiny a jednotky - Část 4: Mechanika. Český normalizační institut, 1. duben 2007 (účinnost od 1. 5. 2007)
- [9] AutoZnalosti. Výkon a kroutící moment. [online]. [cit. 2016-02-18] dostupné z <http://www.autoznalosti.cz/index.php/motor/31-vykon-a-kroucici-moment.html>
- [10] HROMÁDKO, Jan. Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [11] Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 85. [online]. [cit. 2016-02-18] dostupné z http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=uriserv%3A0J.L_.2014.323.01.0052.01.CES

- [12] Motory – teorie. [online]. [cit. 2016-02-18] dostupné z <http://files.strojarna.webnode.cz/200000012.../MOTORY-%20teorie.pdf>
- [13] ČSN 090722. Pístové spalovací motory předpisy, zkoušky, měření.
- [14] PEJŠA L., Technická diagnostika, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 1995, ISBN 80-213-0249-6
- [15] PEXA M., Technická diagnostika – Metody měření provozních parametrů, přednášky, obor SMAD 4. ročník.
- [16] BEROUN, Stanislav. Vozidlové motory: Studijní texty k předmětu Motorová vozidla. [online]. [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/studenti/skripta-a-texty-on-line/zaklady-teorie-vozidel-a-vozidlovych-motoru>
- [17] Hromádko. Jan. Spalovací motory, přednášky, obor SMAD 3. ročník.
- [18] BEROUN, Stanislav. Scribd.cz [online]. [cit. 2016-03-17]. Vozidlové motory. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/29560735/Vozidlove-motory-Prof-Ing-Stanislav-Beroun-CSc>.
- [19] Papoušek, Miroslav. Štěrba, Pavel. Diagnostika spalovacích motorů. 2.vydání. Brno: Computer Press, 2007, 223 s. ISBN 978-80-251-1697-5
- [20] Stecula, Bohuslav. Měření výkonu motorových vozidel [online]. [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: http://net-auto.cz/moodle/file.php/14/P5-TEMA_13_Mereni_vykonu_motorovych_vozidel.pdf
- [21] Harbour. L. Jerry. The basics of performance measurement. Second edition CRC Press 2009, 102 s. ISBN-13: 978-1439802496
- [22] G. G. Lucas. Road vehicle performance methods of measurement and calculation. Gordon and Breach science publishers 1986, 199 s. ISBN 0-677-21400-6

[23] Marcus. Schurig. Die Tücken der Leistungsmessung [online]. [cit. 2016-09-25].
Dostupné z: <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/die-technik-moderner-leistungspruefstaende-10321066.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Ideální indikátorový pV diagram zážehového motoru	3
Obrázek 2 Princip vzniku točivého momentu.....	6
Obrázek 3 Jmenovitá otáčková charakteristika vznětového motoru.....	11
Obrázek 4 Vnější otáčková charakteristika zážehového motoru	12
Obrázek 5 Zatěžovací charakteristika	13
Obrázek 6 Úplná charakteristika motoru	15
Obrázek 7 Uspořádání hydraulické brzdy.....	18
Obrázek 8 Schéma hydraulické brzdy	18
Obrázek 9 Schéma elektromagnetické vířivé brzdy	20
Obrázek 10 Brzdné pole elektromagnetické vířivé brzdy.....	20
Obrázek 11 Uspořádání válcové zkušebny	29
Obrázek 12 Programové rozhraní programu Datalab	31
Obrázek 13 Diagnostický systém VAG-COM.....	32
Obrázek 14 Umístění vozidla před zahájením měření	40
Obrázek 15 Stanovení celkového převodového poměru Ford Fiesta	41
Obrázek 16 Průběh točivého momentu válců zkušebny při měření pasivních ztrát Ford Fiesta.....	42
Obrázek 17 Závislost pasivních ztrát na rychlosti	43
Obrázek 18 Vnější otáčková charakteristika – statická metoda Ford Fiesta.....	45
Obrázek 19 Výkonové parametry udávané výrobcem	46
Obrázek 20 Vnější otáčková charakteristika – dynamická metoda Ford Fiesta	49

Seznam tabulek

Tabulka 1 Metody měření výkonových parametrů spalovacích motorů.....	16
Tabulka 2 Parametry jednotlivých součástí zkušebny	30
Tabulka 3 Parametry vířivého dynamometru.....	30
Tabulka 4 Průměrné hodnoty pasivních ztrát Ford Fiesta	43

Seznam zkratek

SI – mezinárodně domluvená soustava jednotek fyzikálních veličin
Le Système International d'Unités

EHK – Evropská hospodářská komise

EHK 85 – Jednotná ustanovení pro schvalování spalovacích motorů nebo elektrických hnacích ústrojí určených k pohonu motorových vozidel kategorie M a N z hlediska měření netto výkonu a maximálního 30minutového výkonu elektrických hnacích ústrojí

OSN – Organizace spojených národů

PS – koňská síla (německý překlad Pferdestärke)

HP – koňská síla (anglický překlad horsepower)

PSI – libra na čtvereční palec (anglický překlad pound per square inch)

Pas. ztráty – pasivní ztráty