

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**BRNO 2016**

**MAREK PLUHÁČEK**



**Úplná charakteristika vznětového motoru s využitím dat  
ze sítě CAN-Bus**  
Diplomová práce

*Vedoucí práce:*

Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

*Vypracoval:*

Bc. Marek Pluháček

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. Marek Pluháček**  
Studijní program: Zemědělská specializace  
Obor: Automobilová doprava  
Název tématu: **Úplná charakteristika vznětového motoru s využitím dat ze sítě CAN-BUS.**  
Rozsah práce: 50 – 60 stran

Zásady pro vypracování:

1. Podle dostupné literatury zpracujte současný stav v oblasti měření charakteristik vozidlových motorů. Zaměřte se na možnosti využití dat z digitální sítě CAN BUS vozidla.
2. Pro potřeby diplomové práce navrhnete metodiku měření úplné charakteristiky motoru.
3. Připravte a proveďte měření vybraného motoru na dynamometru.
4. Z naměřených dat sestavte úplnou charakteristiku zkoušeného motoru. Pro sestavení charakteristiky využijte data ze sítě CAN BUS.
5. Vyhodnotte provedená měření a z výsledků vyvodte závěry pro praxi.
6. Navrhnete osnovu diplomové práce a harmonogram činností při řešení úkolu. S průběhem prací pravidelně seznamujte vedoucího diplomové práce.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci: **Úplná charakteristika vznětového motoru s využitím dat ze sítě CAN-Bus** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

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

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

V Brně dne .....

.....

podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce panu **Ing. Vojtěchovi Kumbárovi, Ph.D.** za odborné rady, náměty a věcné připomínky, které mi v průběhu zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval panu **doc. Ing. Pavlu Sedlákovi, CSc.** a **doc. Ing Jiřímu Čuperovi, Ph.D.** za odborné konzultace, náměty a cenné rady k praktické části diplomové práce.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce je zpracována na téma „Úplná charakteristika vznětového motoru s využitím dat ze sítě CAN-Bus.“ Práce je rozdělena na dvě části.

V teoretické části jsou popsány dle dostupné literatury druhy charakteristik spalovacího motoru a současný stav v oblasti měření charakteristik. Dále se zaměřuje na sběrníkové systémy CAN-Bus u vozidel a na možnosti využití dat z digitální sítě vozidla.

Cílem praktické části je návrh metodiky měření parametrů motoru pásového traktoru John Deere 8320RT, provedení ve školní laboratoři na vířivém dynamometru. Vyhodnocení dat ze sítě CAN-Bus a sestavení úplné otáčkové charakteristiky. Stanovení oblasti s nejnižší měrnou spotřebou paliva, maximálním dosaženým výkonem a točivým momentem. Výsledky měření jsou vyneseny do tabulek, z nichž jsou následně sestaveny charakteristiky.

**Klíčová slova:** vznětový motor, úplná charakteristika, CAN-Bus, výkon motoru

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals the topic „Full characteristics of combustion diesel engine with using data from a CAN-Bus network“. This work is divided into two parts.

The theoretical part of the thesis described according to available literature kinds of characteristics of the combustion engine and the current state of the measurement characteristics. Then, it is targeted on data transfer in automobiles using a Controller Area Network (CAN-Bus) and the possibilities of using data from a digital network vehicle.

The aim of the practical part is to suggest methodology of measuring parameters of engine track tractor John Deere 8320RT. Evaluation of data from a CAN-Bus Net and construction a complete speed characteristic. Determination of the lowest specific fuel consumption, achieved maximum power and torque. The results of measuring and placed in tables which form is a basis for creation of subsequent characteristics.

**Keywords:** diesel, full characteristic, CAN-Bus, engine power

## **OBSAH**

1	ÚVOD.....	9
2	CÍL PRÁCE.....	10
3	CHARAKTERISTIKY SPALOVACÍHO MOTORU.....	11
3.1	Otáčkové charakteristiky.....	11
3.2	Zatěžovací charakteristiky.....	11
3.3	Seřizovací charakteristiky.....	11
3.4	Úplné charakteristiky.....	12
4	MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK VOZIDLOVÝCH MOTORŮ.....	12
4.1	Normativní požadavky.....	14
4.2	Dynamometry.....	15
4.2.1	Hydraulické dynamometry.....	19
4.2.2	Hydrostatické dynamometry.....	20
4.2.3	Elektrické dynamometry.....	20
4.2.4	Třecí dynamometry.....	23
4.2.5	Vzduchové dynamometry.....	23
4.3	Válcové zkušebny.....	23
4.3.1	Duoválcové.....	25
4.3.2	Monoválcové.....	25
4.3.3	Bezválcová konstrukce.....	26
5	SBĚRNICOVÉ SYSTÉMY CAN-BUS.....	26
5.1.1	CAN-Bus z elektrického hlediska.....	27
5.1.2	Komponenty sběrnice CAN-Bus.....	29
5.1.3	Přenos informací po síti CAN-Bus.....	30
5.1.4	Komunikační rychlosti CAN-Bus.....	32
5.1.5	Přístup na sběrnici CAN.....	32
6	MATERIÁL A METODIKA.....	34
6.1	Metodika měření.....	34
6.2	Měření jmenovité otáčkové charakteristiky.....	35
6.3	Měření úplné otáčkové charakteristiky.....	35

6.4	Dynamometr pro měření parametrů přes vývodový hřídel .....	37
6.5	Hmotnostní měření spotřeby .....	39
6.6	Přesnost hodnoty spotřeby paliva.....	40
6.7	Snímání otáček .....	40
6.8	Snímání hodnot ze sítě CAN-Bus .....	40
6.9	Ostatní měřené veličiny.....	41
6.10	Použité výpočtové vztahy .....	41
6.10.1	Výkon motoru .....	41
6.10.2	Měrná spotřeba paliva.....	41
6.10.3	Hodinová spotřeba paliva .....	42
6.10.4	Převýšení točivého momentu.....	42
6.10.5	Pokles otáček .....	42
7	VÝSLEDKY MĚŘENÍ A DISKUSE.....	42
7.1	Jmenovitá otáčková charakteristika .....	42
7.1.1	Jmenovitá otáčková charakteristika s vynesemím $P$ , $M_k$ a $m_p$ .....	43
7.1.2	Jmenovitá otáčková charakteristika s vynesemím Load, $M_{t\_akt}$ a $M_k$ .....	44
7.1.3	Cyklová dávka .....	45
7.2	Úplná charakteristika s měrnou spotřebou paliva .....	46
7.3	Úplná charakteristika aktuálního točivého momentu.....	47
7.4	Úplná charakteristika zatížení motoru (Load).....	47
7.5	Přesnost hodnoty spotřeby paliva.....	51
7.6	Diskuse.....	54
8	ZÁVĚR .....	56
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	57
10	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	59
11	SEZNAM TABULEK .....	60



# 1 ÚVOD

Od doby, kdy zkonstruoval německý inženýr Rudolf Diesel první vznětový motor, uplynulo více jak 120 let. Za tu dobu si tento motor prošel celou řadou vývojových etap, zdokonalováním a modernizací. V dnešní době musí vozidlový spalovací motor, jako produkt vyspělé strojírenské výroby, splňovat náročná provozní a uživatelská kritéria. Mezi zmíněná kritéria patří přísné plnění energetických, výkonových a ekologických parametrů.

Tento trend je možno vidět také u zemědělských strojů a zejména u traktorů. U traktorů jsou v současné době používané téměř výhradně čtyřdobé vznětové motory. Nová technická řešení, která se objevují u traktorových motorů, jsou z velké části adaptována z vývoje automobilových motorů. Rostoucí nároky by nebylo možné plnit bez přesné regulace motorů s širokým využitím elektronických řídicích a regulačních prvků. Kromě motoru jsou elektronickými řídicími jednotkami osazeny také další funkční celky, jako např. převodovka, hydraulický systém a další. Aby byla regulace jednotlivých skupin efektivní, je nutné zajistit komunikaci mezi řídicími jednotkami. Řídicí jednotky získávají informace nutné pro efektivní řízení z interních snímačů, jimiž jsou motor, převodovka a ostatní části vozidla vybaveny. Tyto údaje jsou příslušnou jednotkou zpracovány. Zpracovaná data si řídicí jednotky předávají po interní digitální síti vozidla CAN-Bus tak, aby mohlo dojít k požadovanému regulačnímu zásahu. CAN-Bus je sběrnice využívaná pro vnitřní komunikační síť senzorů a řídicích jednotek vozidla. CAN (Controller Area Network) je dnes dominantní komunikační síť všech kategorií vozidel pro výměnu informací mezi elektronickými řídicími jednotkami a dále i pro systémy palubní diagnostiky. Historie sběrnice CAN sahá až k roku 1983, kdy společnost Bosch začala s vývojem komunikační sítě.

Abychom se mohli neustále posouvat kupředu ve vývoji spalovacího motoru, je velmi důležitou součástí modernizace testování a zkoušení inovovaných motorů. Z toho důvodu se tato práce zabývá zpracováním dat ze sítě CAN-Bus zkoušeného motoru.

## **2 CÍL PRÁCE**

Cílem diplomové práce je zpracovat současný stav v oblasti měření charakteristik vznětového motoru, zaměřit se na sběrníkové systémy CAN-Bus, navrhnout metodiku měření, připravit a provést měření základních parametrů vybraného motoru se snímáním dat ze sítě CAN-Bus. Z naměřených hodnot potom sestavit charakteristiky a vyhodnotit provedené zkoušky. Veškerá měření jsou prováděna ve vozidlové zkušebně Mendelovy univerzity v Brně.

### 3 CHARAKTERISTIKY SPALOVACÍHO MOTORU

Pro exaktní posuzování vlastností spalovacích motorů je důležitá znalost jejich charakteristik. Charakteristiky spalovacích motorů jsou graficky znázorněny závislosti základních parametrů, jako je výkon  $P$ , točivý moment  $M_t$ , hodinová spotřeba  $M_h$ , měrná spotřeba paliva  $m_p$ , otáčky motoru  $n$ , popř. dalších veličin na některém parametru jako nezávisle proměnném. (*Bauer a kolektiv, 2013*)

Charakteristiky dělíme na:

- otáčkové charakteristiky,
- zatěžovací charakteristiky,
- seřizovací (regulační) charakteristiky,
- úplné (celkové) charakteristiky,
- zvláštní charakteristiky,

#### 3.1 Otáčkové charakteristiky

Otáčková charakteristika je znázornění závislosti užitečného výkonu a dalších provozních veličin motoru na jeho otáčkách při stálém nastavení dávky paliva. Místo absolutních hodnot otáček se mohou na osu vynášet poměrné otáčky, tj. poměr skutečných ke jmenovitým. V tom případě je nutno na diagramu uvést číselnou hodnotu otáček jmenovitých. Při přímém zjišťování otáčkové charakteristiky se změnou zatížení (přechodem na jinou otáčkovou charakteristiku zatěžujícího orgánu) bez jakéhokoli vnějšího zásahu do nastavení dávky paliva a do seřízení regulátoru. (*Ondráček, 1989*)

#### 3.2 Zatěžovací charakteristiky

Zatěžovací charakteristika je znázornění závislosti spotřeby paliva, zpravidla měrné spotřeby ( $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ), respektive dalších důležitých veličin, na některé veličině charakterizující zatížení spalovacího motoru, jako například výkon  $P_e$ , střední efektivní tlak  $p_e$ , točivý moment  $M_k$  atd. (*Čupera, 2010*)

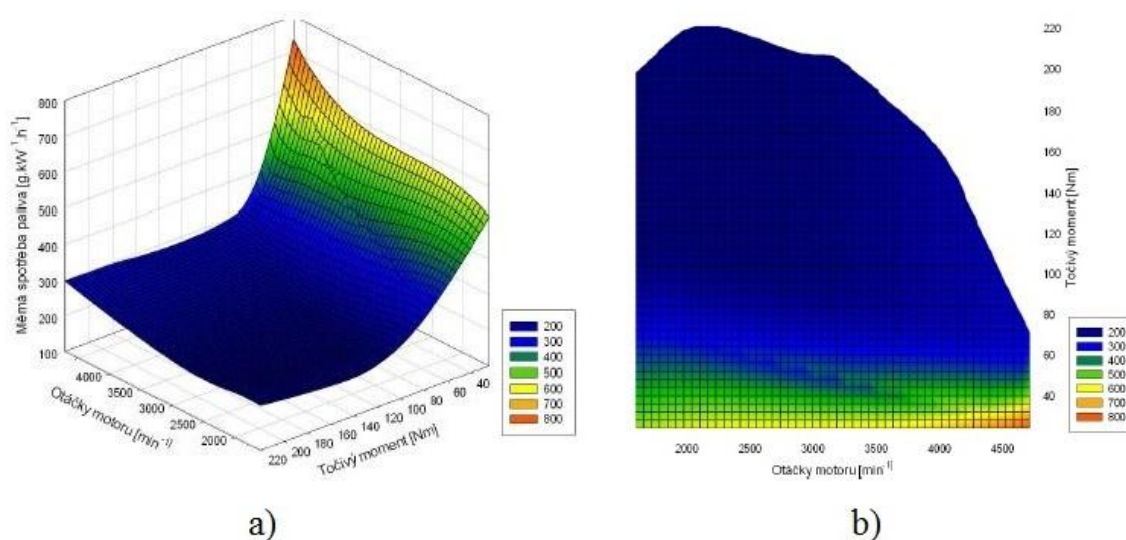
#### 3.3 Seřizovací charakteristiky

Seřizovací charakteristika znázorňuje závislost užitečného výkonu a měrné spotřeby paliva, popř. dalších provozních veličin na některé provozní nebo konstrukční veličině

charakterizující seřízení motoru, jako je úhel předstihu vstřikování, otvírací tlak vstřikovače apod. (Ondráček, 1989)

### 3.4 Úplné charakteristiky

Úplná otáčková charakteristika je diagram znázorňující soustavou křivek závislost sledované provozní veličiny na dvou veličinách základních, vyneseny na osách souřadnic. Každé křivce diagramu přísluší určitá stálá hodnota sledované veličiny jako parametr. Do úplné charakteristiky jsou vynášeny jako izočáry oblasti stálých měrných potřeb, stejných výkonů, popř. dalších stálých hodnot sledovaných parametrů motoru. Úplná charakteristika je ve skutečnosti prostorový diagram a nezjišťuje se přímým měřením, ale sestrojuje se ze soustavy otáčkových charakteristik naměřených při různých dodávkách paliva. (Bauer a kol., 2013)



**Obr. 1** a) Trojrozměrné zobrazení úplné charakteristiky, b) úplná charakteristika v grafu x-y (Čupera, 2010)

## 4 MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK VOZIDLOVÝCH MOTORŮ

Měření charakteristiky vozidlových motorů můžeme zařadit mezi nejdůležitější laboratorní měření z hlediska sledování vlastností motorů. Charakteristika umožňuje exaktně posoudit jeho vlastnosti. V rámci měření charakteristiky pístového spalovacího motoru se zjišťují nejčastěji průběhy výkonu  $P$ , točivého momentu  $M_k$ , měrné spotřeby paliva  $m_p$  a produkce emisí. V průběhu charakteristik se také odráží použitá metoda měření.

Rozdělují se na zkoušky:

- statické,
- dynamické,

Jak je patrné z označení, ukrývají v sobě proměnný čas, kdy statické zkoušky probíhají v ustálených režimech. Regulace motoru i zkušebního zařízení se jen velmi málo odlišují od žádané hodnoty a dále jsou ustálené teploty vstupního vzduchu výstupních spalin. Tato metoda je základní metodou měření a její výsledky jsou uvedeny v technických parametrech vozidla. Naopak dynamické metody měření se někdy blíží více reálné jízdě, kdy se neustále mění zatížení a tomu také odpovídají i regulační pochody – řízení předstihu zážehu/vstříku, výsledná hodnota směšovacího poměru nebo také časové fluktuace v systému přeplňování turbodmychadlem. (Čupera, 2010, Vlček, 2005)

**Tab. 1** Metody měření výkonových parametrů

Způsob zatížení	Umístění motoru	Výstup motoru	Princip měřicího zařízení
<b>STACIONÁRNÍ (STATICKÉ)</b>	Zkušební stanoviště	Klikový hřídel nebo jiné srovnatelné místo	<b>Absorpční dynamometry:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektromagnetické vířivé brzdy</li> <li>• Hydraulické brzdy</li> <li>• Mechanické frikční brzdy</li> </ul>
	Ve vozidle (podle normy) v místě instalace	Obvod hnacích kol	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vzduchové brzdy</li> <li>• Tandemové brzdy</li> </ul>
		Vývodový hřídel (traktory)	
		Klikový hřídel nebo jiné srovnatelné místo	<b>Univerzální dynamometry:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrodynamické motor-generátory na stejnosměrný nebo střídavý proud</li> <li>• Torzní dynamometry</li> </ul>
<b>DYNAMICKÉ</b>	Ve vozidle	Obvod hnacích kol	Měření úhlového zrychlení setrvačných hmot
		Klikový hřídel nebo jiné srovnatelné místo	Měření úhlového zrychlení klikového hřídele samotného motoru
		Přepočet výkonu na klikový hřídel	Měření přímočarého zrychlení celého vozidla

## 4.1 Normativní požadavky

Měření charakteristik motorů se nejčastěji provádí v motorových a válcových zkušebnách. Metodika měření charakteristik motorů spalovacího motoru podléhá určitým standardům. Řídí se mezinárodními, případně národními normami. Norma ČSN 30 2008 platí pro automobilové spalovací motory, a to jak bez přeplňování tak i vybavené přeplňováním prostřednictvím mechanického kompresoru: zážehové, vznětové, vícepalivové, plynové a s krouživým pístem a stanovuje metody zkoušek na brzdovém stanovišti, při kterých se určují ukazatele motorů:

- při plné palivové připustí,
- při částečné palivové připustí
- při chodu na prázdno (ČSN 30 2008, 1978)



**Obr. 2** Test Mercedes-Benz F1 A45 AMG na válcové zkušebně  
(<http://www.carshouse.cz/nova-valcova-zkusebna-vykonu-v-praze>)

Mezinárodní norma ISO 1585 specifikuje metody pro testování spalovacích motorů určené pro vozidla. Platí pro zhodnocení jejich výkonnosti, zejména s cílem zaměřit se na prezentaci výkonových křivek a spotřebu paliva při plném zatížení jako funkci rychlosti motoru v závislosti na otáčkách motoru. Platí pro stanovení čistého výkonu. Týká se spalovacích motorů s vnitřním spalováním, které jsou používány pro pohon osobních

vozidel a jiných motorových vozidel, včetně motocyklů, mopedů a zemědělských traktorů, normálně používané na silnici a jsou obsaženy v jedné z těchto kategorií:

- pístové spalovací motory, s výjimkou motorů s volnými písty,
- rotační pístové motory.

Tyhle motory mohou být atmosférické, ale i přeplňované pomocí turbodmychadla, nebo kompresoru. (ISO 1585, 2006)

Z hlediska využití traktorů je významný a často požívaný výkon naměřený na vývodovém hřídeli. Zkoušky výkonu traktorového motoru na vývodovém hřídeli se provádí podle metodik OECD Code 1 a 2, normy ČSN ISO 789-1 „Zkušební metody, část 1: Zkoušky výkonu na vývodovém hřídeli“ a normy ČSN 30 0415 „Zemědělské a lesnické traktory. Metody zkoušení. Výsledkem je otáčková charakteristika motoru při plné dávce paliva. Parametry měřené přes vývodový hřídel jsou běžně uváděny v testech traktorů prováděných mezinárodními zkušebnami. Výsledky měření parametrů motoru slouží k sestavení charakteristik motoru. (Bauer a kol., 2013)

## 4.2 Dynamometry

Mechanický výkon motoru je veličina, která je neměřitelná přímo, ale stanovuje se na základě veličin při rotačním pohybu odečtem hodnot na klikové hřídeli u měření na motorovém dynamometru, resp. na kole pokud je měření realizováno na válcovém dynamometru. Otáčející se součást přenáší výkon, který se určí ze známého vztahu:

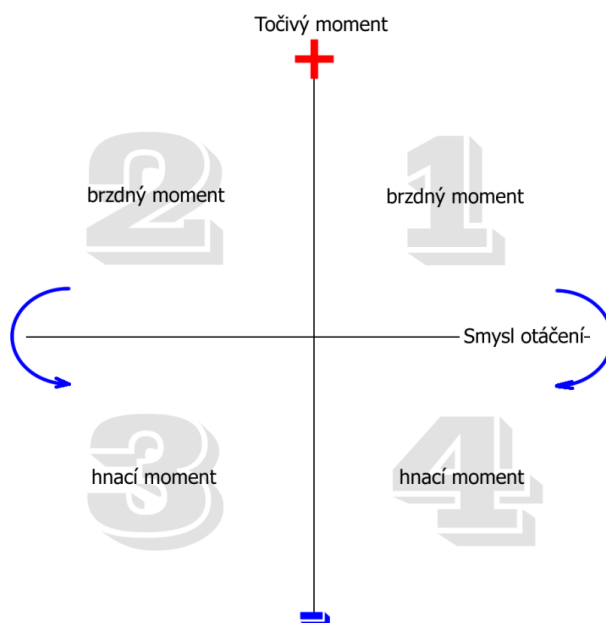
$$P = M \cdot \omega \quad [\text{kW}], \quad (1)$$

kde  $M$  je točivý moment [Nm],

$\omega$  je úhlová rychlost [ $\text{s}^{-1}$ ].

Výkon při rotačním pohybu lze tedy zjistit měřením točivého momentu a otáček. Pro měření točivého momentu se používá většinou deformačních členů. Moment síly namáhá měřicí člen (tenzometrickou přírubu, tenzometr), který převádí napětí na deformaci a výsledná hodnota je převedena na sílu, resp. moment. Pro určení výkonu je nutno zároveň měřit otáčky klikové hřídele. K měření točivého momentu, resp. výkonu jsou určeny stroje, které se nazývají dynamometr (brzda). Tedy zařízení vytváří stejnou

výši momentu, jakou generuje spalovací motor, pouze má opačný smysl působení. Silové působení momentu dělí dynamometry na dva základní typy, a to ty které pouze brzdí, a ty které mohou i pohánět. Volba daného typu je mimo ekonomických hledisek odvislá také o schopnostech změny pracovního kvadrantu, neboť ne všechny typy dynamometrů mohou pracovat čtyřkvadrantově. (Čupera, 2010, Vlk, 2005)



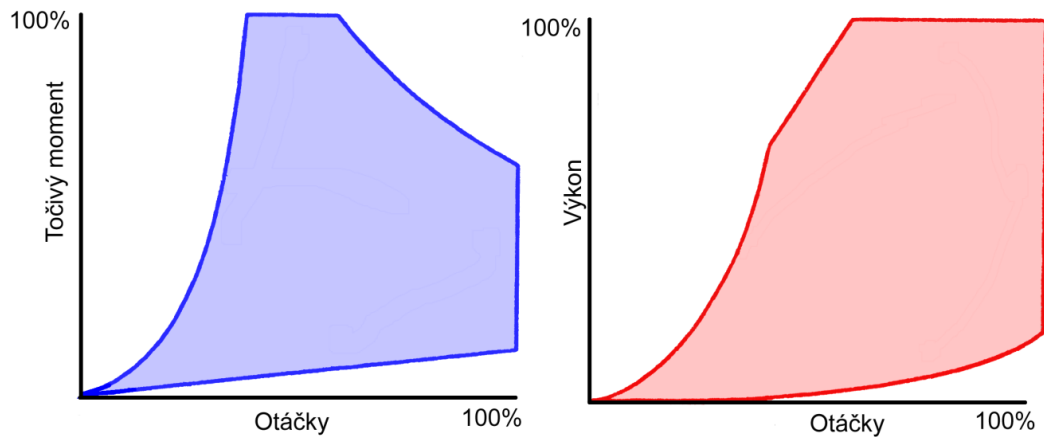
**Obr. 3** Kvadranty pracovních oblastí dynamometru (Čupera, 2010)

**Tab. 2** Pracovní kvadranty pro jednotlivé typy dynamometrů (Čupera, 2010)

Typ dynamometru	Pracovní kvadrant
Hydraulický (hydrokinetický)	1. nebo 2.
Hydrostatický	1, 2, 3, 4
Elektrický stejnosměrný	1, 2, 3, 4
Elektrický asynchronní	1, 2, 3, 4
Vířivý	1. nebo 2.
Třecí	1. nebo 2.
Vzduchový	1. nebo 2.



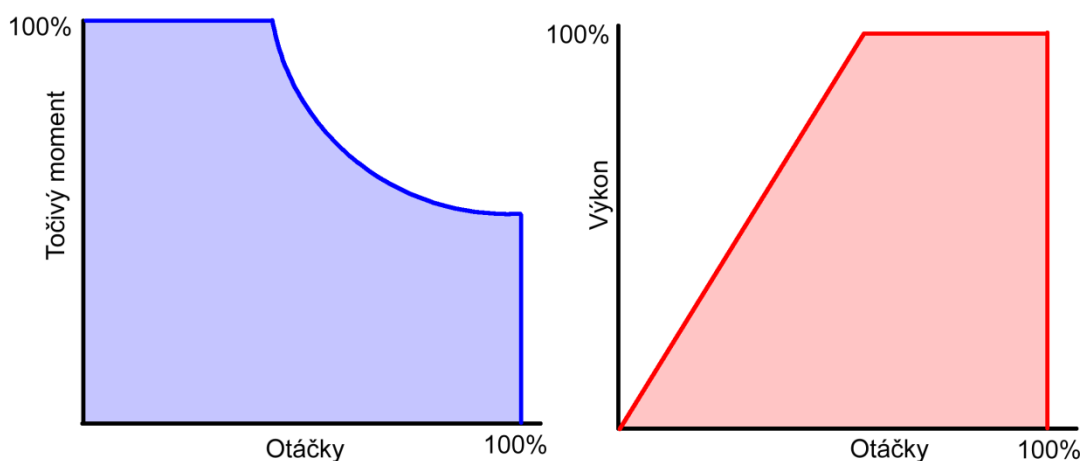
Druhým zásadním rozlišovacím znakem mezi dynamometry je momentová nebo výkonová charakteristika. Ty jsou rozdílné například pro hydraulické, nebo elektrické dynamometry, jakožto nejrozšířenější typy dynamometrů.



**Obr. 4** Momentová a výkonová charakteristika hydraulického dynamometru (Čupera, 2010)

Obalová křivka charakteristika má limity (postupně od zatěžující větve), které jsou v případě hydraulického dynamometru způsobeny:

- růst momentu s kvadrátem rychlosti (odpor kapaliny),
- konstrukční limit stroje (viz úsečka na P charakteristice, spojky, hřídele atp.),
- maximální limitovaný výkon chlazením,
- maximální přípustné otáčky,
- minimální moment způsobený nutným minimem průtoku vody.



**Obr. 5** Momentová a výkonová charakteristika elektrického dynamometru (Čupera, 2010)

Limity pro elektrické dynamometry jsou dány:

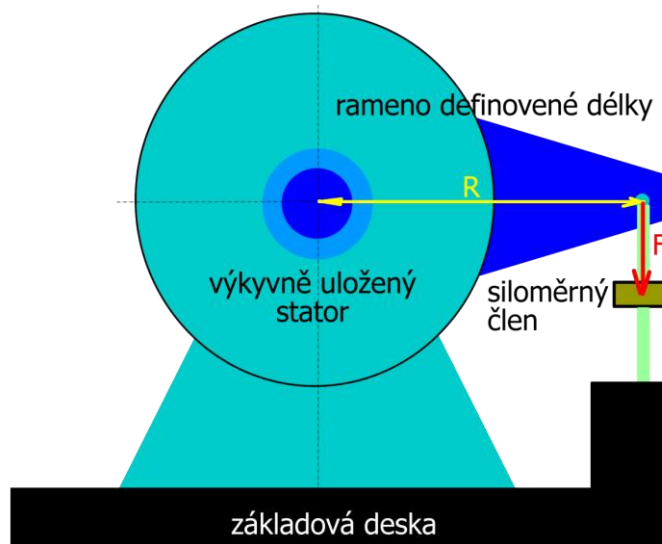
- maximální hodnotou buzení, resp. proudu,
- maximální hodnotou výkonu dynamometru,
- maximálními otáčkami.

Při znalosti M a P charakteristiky je pak možné rozhodnout optimální variantu dynamometru pro danou zkušebnu. Konkrétní řešení je většinou svěřeno specializované firmě, avšak ta vychází z návrhu reálně měřených motorů. (Čupera, 2010)

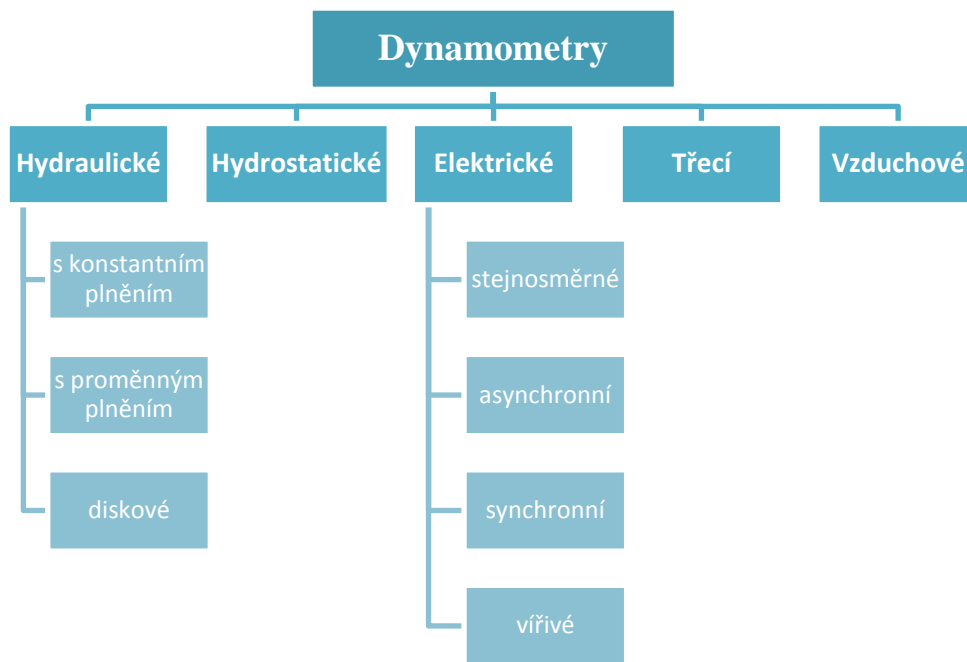
Princip měření síly je v zásadě dvojit:

- reakční – moment je „zachytáván“ na rameni, které je spojeno s tělesem dynamometru. Tento způsob je běžnější z důvodu nižší ceny.
- tenzometrickou přírubou – měřicí člen je vložen mezi zkoušený motor a dynamometr.

Vysvětlení principu je možné promítnout na podobnou aplikaci – uložení motoru v karosérii vozidla. Spalovací motor generuje točivý moment, který je přes klikovou hřídel a transmisi přenášen na kola vozidla. Ovšem stejný moment je zachytáván uložením motoru, pouze s opačným smyslem. U dynamometru se v místě uložení, jehož rameno je známé délky od osy, nachází siloměrný prvek. (Čupera, 2010, Vlček, 2005)



**Obr. 6** Princip měření na dynamometru (Čupera, 2010)



**Obr. 7** Rozdělení dynamometrů (Čupera, 2010)

#### 4.2.1 Hydraulické dynamometry

Hydraulické neboli vodní brzdy jsou obdobná zařízení, jako je hydraulická spojka. Torodiální prostor vytváří proudění kapaliny, která „přirozeně“ klade odpor, který je vyjádřením energie ve formě tepla. Brzdný moment je úměrný čtverci rychlosti otáčení. Brzdné médium (voda) je současně i tím, které tepelnou energii odvádí. Hydraulické dynamometry se uplatňují u aplikací, které jsou specifické v některém parametru. Například při měření výkonu závodního automobilu s vysokým výkonem a otáčkami je výhodný nízký moment setrvačnosti. Například u hydraulických retardérů společnosti



SuperFlow je průměr turbíny 23 cm pro výkon 750 kW a otáčky do 22 000 1/min. Na druhé straně se však vyrábí i hydraulické dynamometry, které jsou schopny brzdit lodní motory do výkonu 140 000 kW. (Čupera, 2010)

**Obr. 8** Hydraulický dynamometr pro osobní automobily (Čupera, 2010)

#### **4.2.1.1 Konstantní plnění**

Tyto stroje jsou také nazývány jako klasické Froude dynamometry. Objem kapaliny je pro různé momenty stejný. Zvýšení odporu se dosahuje zasunováním tenkých plátů do komory statoru, které vyvolá změnu toroidálního víru, resp. rychlost proudění, které se čtvercem rychlosti mění hydraulický odpor. (Čupera, 2010)

#### **4.2.1.2 Variabilní plnění**

Odpor je závislý na množství kapaliny, které je do soustavy přiváděno. Lze říci, že rychlost změny momentu je vyšší než v prvním případě, neboť přítok kapliny lze usku- tečnit rychleji než mechanické zasouvání plátů. Obvykle se ke zvýšení dynamiky regu- luje množství na vstupním i výpustném ventilu. V praxi existují tyto typy také v provedení, které je přímo šroubovatelné na přírubu spojky, čímž odpadají problémy s torzními kmity na spojovací hřídeli. (Čupera, 2010)

#### **4.2.1.3 Diskové plnění**

Nejsou často používané vzhledem k jejich nízké schopnosti změny dynamiky. Lze se s nimi ovšem setkat například u zkoušení plynových turbín, kde je nutné zkoušet ve vysokých otáčkách. Sestávají z velmi tenkých disků, které mají malé drážky a výkon je mařen „stříhem“ vodní vrstvy. Zatížení se mění změnou vodní hmoty v dynamometru. (Čupera, 2010)

### **4.2.2 Hydrostatické dynamometry**

Hydrostatické dynamometry jsou konstrukčně založeny na kombinaci přímočarých hydraulických hydromotorů, kdy jeden je s konstantním zdvihem a druhý má zdvih proměnný. Tento dynamometr se téměř nepoužívá a lze říci, že jediná výhoda může být spatřována pouze ve schopnosti dosáhnout skutečně plného momentu v nulových otáč- kách. (Čupera, 2010)

### **4.2.3 Elektrické dynamometry**

#### **4.2.3.1 Stejnoseměrné**

Stejnoseměrné dynamometry si lze představit jako dynamo, které je kyvně uloženo. Řízení je obvykle na bázi tyristorového měniče ze střídavého proudu. Jak je známo, moment stejnoseměrného dynamometru je regulován proudem kotvy a magnetickým tokem, tedy i budícím proudem. Mezi výhody stejnoseměrných dynamometrů patří po- měrně jednoduchá regulace, lze jím také motor nastartovat a protáčet. Je levnější varian-

tou oproti asynchronním dynamometrům a navíc v brzděném režimu lze energii rekuperovat zpět do sítě. Nevýhoda, ale ovšem spočívá ve velkém momentu setrvačnosti (vzájemná vazba momentů setrvačnosti mezi spalovacím motorem a dynamometrem), které v některých případech mohou být problematické z hlediska torzních vibrací. Limitem jsou také maximální dosažitelné otáčky. U komutátorových motorů je obecně vyšší náročnost na údržbu. (Čupera, 2010)

#### **4.2.3.2 Asynchronní**

Asynchronní dynamometry jsou v podstatě střídavé pohony s kotvou nakrátko. Regulátor je většinou schopen pracovat ve čtyřech kvadrantech. Regulace se provádí v n-M tak, že pro změnu otáček se mění frekvence proudu a momentová osa je řízena změnou napětí. Otáčky jsou tedy regulovány frekvenčním měničem a momentová regulace se provádí různými způsoby vycházející z tranzistorových regulátorů. Obvykle se regulace provádí tzv. vektorovým řízením, které má určité schopnosti inteligence, navíc zpřesněné zpětnovazebně hodnotou skutečných otáček. (Čupera, 2010, Vlk, 2005)

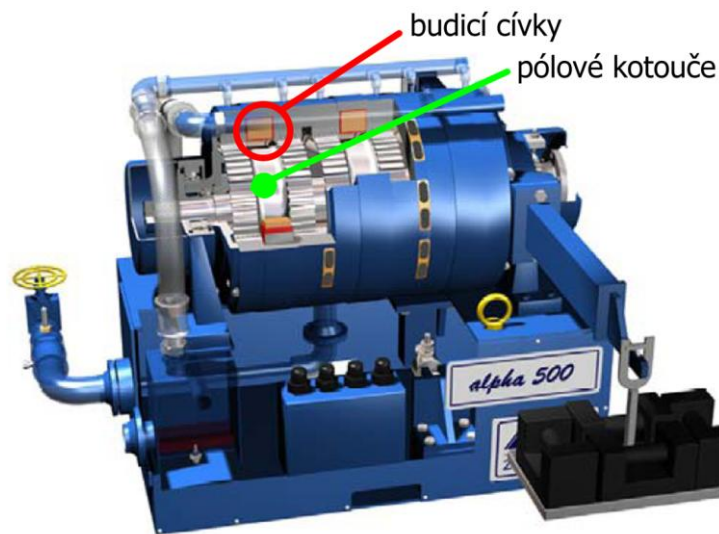
#### **4.2.3.3 Synchronní**

Synchronní dynamometry se začínají rozvíjet v poslední době díky možnostem procesorového řízení. Lze s nimi měřit i vysoce dynamické jevy, neboť změna momentu může být dosažena i v čase 1 ms. Rychlost otáčení je v oblasti dynamometrů ovlivněna spíše mechanickými schopnostmi stroje a bylo dosaženo zrychlení otáček z nuly na 160 000 za jednu sekundu. (Vlk, 2005)

#### **4.2.3.4 Vířivé**

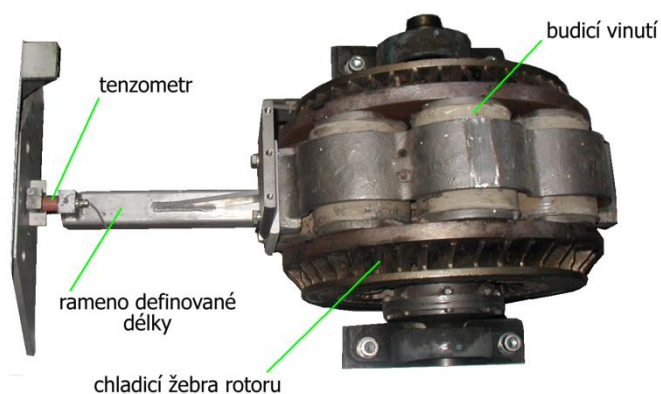
Vířivé dynamometry jsou z všech typu nejrozšířenější, a to díky jejich jednoduché konstrukci, dostačujícím vlastnostem. Elektromagnetické vířivé brzdy jsou založeny na působení vířivých proudů. Velikost brzděného momentu se reguluje velikostí budícího proudu přiváděného do budící cívky za vzniku magnetického pole. Pro ilustraci je možné vyjít z příkladu vířivé brzdy s maximálním brzděným momentem 600 Nm, kde maximální hodnota budícího proudu nepřevyšuje 7,5 A. Statické magnetické pole proniká do objemu nemagnetického vodiče téměř beze změny. Časově proměnné magnetické pole vyvolá díky elektromagnetické indukci ve vodiči indukované elektrické pole. Intenzita vířivých proudů roste s frekvencí střídavého magnetického pole. Tepelný příkon je tedy tím větší, čím je vodič masivnější a čím lépe vede elektrický proud a čím je vyšší frekvence střídavého magnetického pole. Konstrukce vířivé brzdy je symetrická a brzda se

může proto otáčet oběma směry. Elektromagnetická vířivá brzda naproti elektrickým dynamometrům stejnosměrným či střídavým nemůže pohánět motor, ale pouze brzdít.



**Obr. 9** Vířivý dynamometr s vodním chlazením (AVL Alpha: 500 kW, 2000 Nm, 8000 ot/min, moment setrvačnosti 3,69 kg.m<sup>3</sup>) (Čupera, 2010)

Konstrukce vířivé brzdy je závislá na způsobu chlazení. Existují dvě varianty. V prvním případě je teplo odváděno chladicími komorami vodou do dalších výměníků. Druhá varianta spoléhá na odvod tepla do vzduchu. Obě varianty mají své výhody i nevýhody. Obvykle se vířivý dynamometr s vodním chlazením nasazuje pro motorové zkušebny, neboť je zde nutné odvádět vodou i teplený výkon z chlazení motoru, byť okruhy jsou odděleny z důvodu rozdílných pracovních teplot. Naopak u válcových dy-



namometrů se často používá vzduchem chlazených vířivých dynamometrů. Často se jedná o konstrukci, která z důvodu ceny využívá retardérů z vozidel. (Čupera, 2010, Vlček 2005)

**Obr. 10** Vířivý dynamometr vzduchem chlazený (300 kW) (Čupera, 2010)

#### 4.2.4 Třecí dynamometry

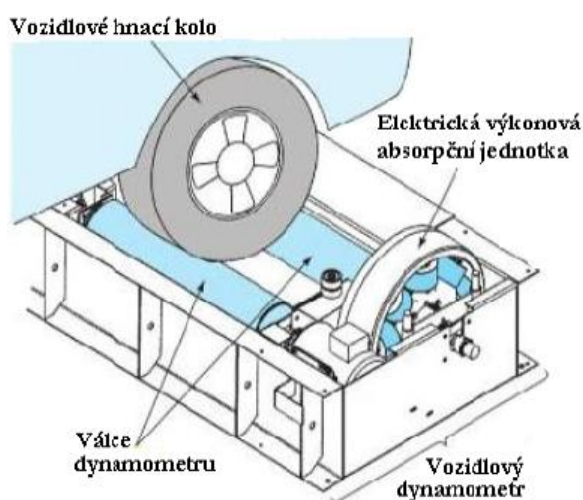
Třecí dynamometry jsou nejstarší a také již nejméně používané brzdy. Historie sahá až do roku 1821, kdy Gaspard de Prony sestrojil třecí dynamometr pro tehdejší pohony. Je-li k měření tento dynamometr užit, pak se jedná o vodou chlazený dynamometr kvůli nutnosti udržení konstantní teploty, která by jinak měla značný vliv na změnu součinitele tření. (Čupera, 2010)

#### 4.2.5 Vzduchové dynamometry

Dalším typem dynamometrů jsou již dnes nepoužívané vzduchové dynamometry, jelikož jejich přesnost je malá. Dříve se u zkušeben nasazovaly u jednoduchých válcových stolic pro zkoušení motocyklů, nebo také v oblasti zkoušení pohonů vrtulníků, kde nevalila ani malá přesnost, ani produkovaný aerodynamický hluk. (Čupera, 2010)

### 4.3 Válcové zkušebny

Zkoušení válcových motorových vozidel na válcových zkušebnách je založeno na principu reciprocity, která spočívá v tom, že zkoušené vozidlo stojí a „vozovka“ se pohybuje. Pohybující se „vozovkou“ jsou otočné válce, na kterých spočívají hnací kola vozidla, nebo všechna kola. Hnací kola vozidla se při měření otáčejí na dvou válcích. K jednomu válci je připojena brzda (vířivá, hydraulická, elektrická) s regulovatelným brzdícím účinkem. Otočná část brzdy (rotor) je spojena s jedním válcem, pevná část brzdy je uložena výkyvně. Při přenosu výkonu dodávaného vozidlovým motorem vzniká na obvodě vozidlových kol hnací síla  $F_k$ , která se třením přenáší na zkušební válce,



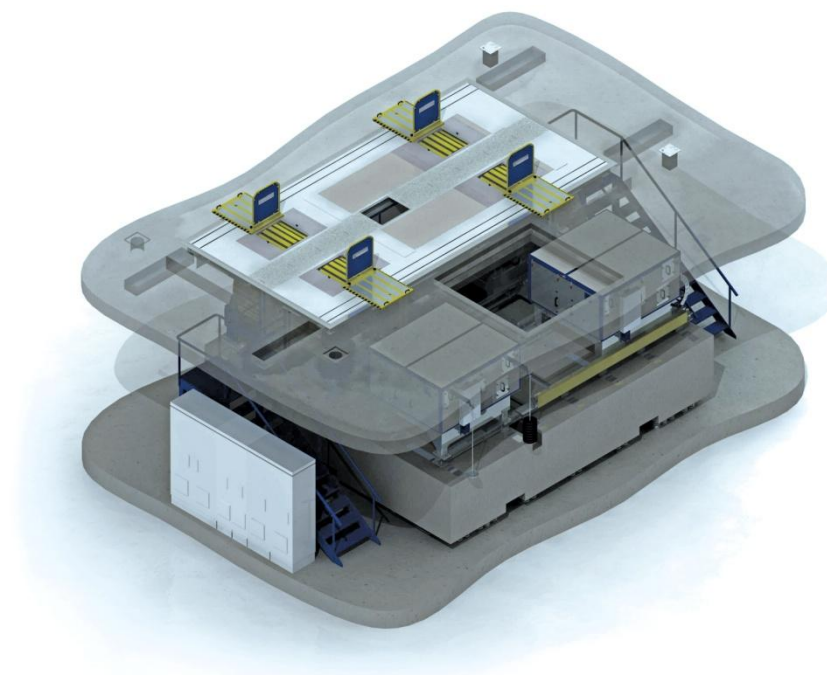
Obr. 11 Válcový dynamometr (Čupera, 2010)

kteří se tím začnou otáčet. Uvedením brzdy do její činnosti, vznikne určitý brzdný moment  $M_b$ , který současně vyvolává reakční moment mající opačný smysl. Protože se rotor otáčí společně a válcem poháněným vozidlovým kolem, musí se reakční moment přenést na pevnou část brzdy, což je na stator.



Reakční moment je stejně velký jako brzdňý moment, takže měřením tohoto reakčního momentu je možno změřit i hnací sílu na obvodě hnacích kol vozidla.

Pro zjištění výkonu vozidla (stacionárního nebo dynamického) na válcové zkušebně výkonu se používají válcové dynamometry, které se skládají z těchto hlavních částí: rám, válce s protismykovou úpravou a definovaným momentem setrvačnosti, dynamometr (třecí brzda, elektrická brzda), snímač rychlosti, ventilátor, hardware a software. (Vlk 2005)



**Obr. 12** Pohled na válcovou zkušebnu AVL ROADSIM NVH 4x2 LIGHT TRUCK  
(<http://www.avl.com>)

Válcové dynamometry jsou univerzální zařízení, která vznikají ze dvou hlavních požadavků, resp. účelů:

1. Technické – jedná se o zkušební nebo vývojové zkušebny, kde existuje obecný charakter zkoušení (pohonné ústrojí a přenos síly na vozovku) nebo specifický charakter (zkoušení vibrací a hluku, klimatické testy, zkoušení spolehlivosti).
2. Legislativní – je doménou zkoušení emisních parametrů vozidel pro testy, které jsou obsaženy v homologacích (např. EHK R83), dále jsou některé dynamometry konstruovány pro zkoušení elektromagnetické kompatibility EMC či zkoušení bezpečnosti vozidel.



Koncepce válcových dynamometrů vychází z jejich nasazení. Lze se setkat s velmi jednoduchými zařízeními, která nemají aktivní disipační charakter, tedy neobsahují vlastní brzdu a brzdový účinek je vytvářen odporem setrvačníků dynamometru. Spolehlivost měření je však v tomto případě vázána k ceně konstrukce. Koncept se nazývá dynamické měření na válcovém dynamometru. Na opačné straně se nachází laboratorní válcové dynamometry, které se vyznačují velmi vysokou přesností zařízení, kde například nejistota měření činí pouhých 2,5 N. (Čupera, 2010, Vlk 2005)

#### 4.3.1 Duoválcové

Duoválcové dynamometry se vyznačují přenosem síly z kola na párové válce. Tento typ je častější pro dynamometry, které mají charakter spíše jednoduchého zkušebního zařízení. Válce mohou být z důvodu přenositelné síly spojeny řetězem či lépe řemenem, nebo se lze setkat i s jedním brzděným válcem a druhým opěrným, ovšem za cenu snížení maximální přenositelné síly, neboť se síla na válci rozkládá a při překročení limitní hodnoty dochází k nárůstu prokluzu. (Čupera, 2010)

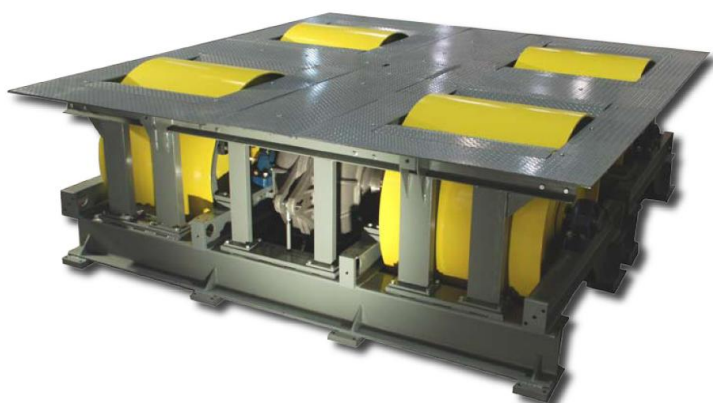


**Obr. 13** Vozidlový dynamometr s párovými válci (Čupera, 2010)

#### 4.3.2 Monoválcové

Monoválcové dynamometry respektují více skutečný stav pneumatiky na vozovce, neboť velké monoválce mají povrch tvořen pouze mírným zakřivením (na rozdíl od dvojí deformace u párových válců, které s sebou nesou značný vliv dynamiky celé pneumatiky, což je například u diagonální pneumatiky extrémní případ, pokud jsou vytvořeny podmínky pro stojaté vlny šířící se celým pláštěm). Monoválcový dynamometr je

veskrze vhodnějším řešením, ale má také svá konstrukční úskalí, neboť není možné vytvořit zkušebnu, která by měla menší rozvor než je průměr válce a dále je válec hmot-



nější a v případě, že se jedná o aktivní dynamometr s pohonem, pak se hůře simulují setrvačné účinky. (Čupera, 2010)

**Obr. 14** *Monoválcový dynamometr (Čupera, 2010)*

#### **4.3.3 Bezválcová konstrukce**

Vozidlový dynamometr bezválcové konstrukce je charakteristický odstraněním problematického uzlu (kolo-válec), kde je nutné monitorovat skluz. Tato koncepce vychází z demontáže kola a montáž vlastní brzdy na náboj kola.



**Obr. 15** *Vozidlový dynamometr bezválcové konstrukce rakouské firmy AVL (<http://www.avl.com>)*

## **5 SBĚRNICOVÉ SYSTÉMY CAN-BUS**

CAN-Bus je datová sběrnice, která byla vyvinuta speciálně pro automobilní oblast. CAN je zkratka pro Controller Area Network, CAN umožňuje výměnu informací mezi

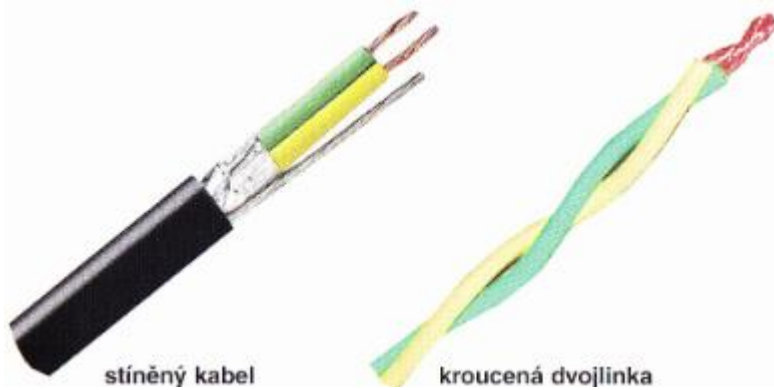
zesíťovanými elektronickými řídicími jednotkami. Komunikace se děje posíláním datových rámců (Data Frames). Datový rámec se skládá z různých datových polí, které se opět skládají z definovaného počtu jednotlivých bitů (0 nebo 1). Pole s datovými informacemi obsahuje vlastní zprávu. Kromě toho datový rámec obsahuje pole řídicí a kontrolní informace. Spolupráce datových rámců, datových polí a bitů je definována na datovém protokolu pro CAN-Bus. Datový protokol naproti tomu nedefinuje, co znamenají zprávy pro jiné řídicí jednotky. To se děje překladem, který definuje výrobce vozidla. Sběrnici CAN lze charakterizovat ve stručnosti v následujících pěti bodech:

- I. Dvou vodičové provedení ve stíněném i nestíněném provedení nejčastěji kroucenou dvojlinkou s definovaným počtem kroucení na metr délky. Toto uspořádání snižuje ovlivnění signálů elektromagnetickým rušením EMI. Spolehlivost přenosu je výrazně zvýšena diferencíálním signálem, kdy jsou signály invertovány a indukce rušení nemění diferenční hodnotu.
- II. Síť nemá preferované uzly (neexistuje adresace), ty jsou si rovnocenné, prioritu nese zpráva sama ve své první části zprávy, resp. frame. Všechny uzly na jedné síti však musejí mít shodné časování (komunikační rychlost). Síť je typu multi-master, neexistuje hlavní řídicí jednotka (master) a podružné jednotky (slave).
- III. Maximální počet parametrů je závislý na použitém protokolu. Velmi často se implementuje standard SAE J1939 (ISO 11898).
- IV. Standardizace dle OSI modelu (Open System Interconnect, definice fyzické, linkové, datové aplikační ... vrstvy) je pouze na úrovni linkové vrstvy a podle norem ISO se dělí na low speed CAN s komunikační rychlostí do 125 kb/s a high speed CAN, který umožňuje komunikaci do rychlosti až 1 Mb/s.
- V. Spolehlivost sítě je téměř 100%. (*Vlk, 2005, Bauer a kol., 2013, Čupera 2010*)

### **5.1.1 CAN-Bus z elektrického hlediska**

Přenos signálu kroucenou dvojlinkou je ve sdělovací technice obvyklým prostředkem. Poprvé byla tato metoda předvedena Alexandrem Grahamem Bellem v roce 1881. Pár vodičů je u sběrnice CAN rozlišen označením CAN\_H a CAN\_L (high a low, pozor na záměnu s komunikační rychlostí, CAN\_H a CAN\_L popisují úroveň

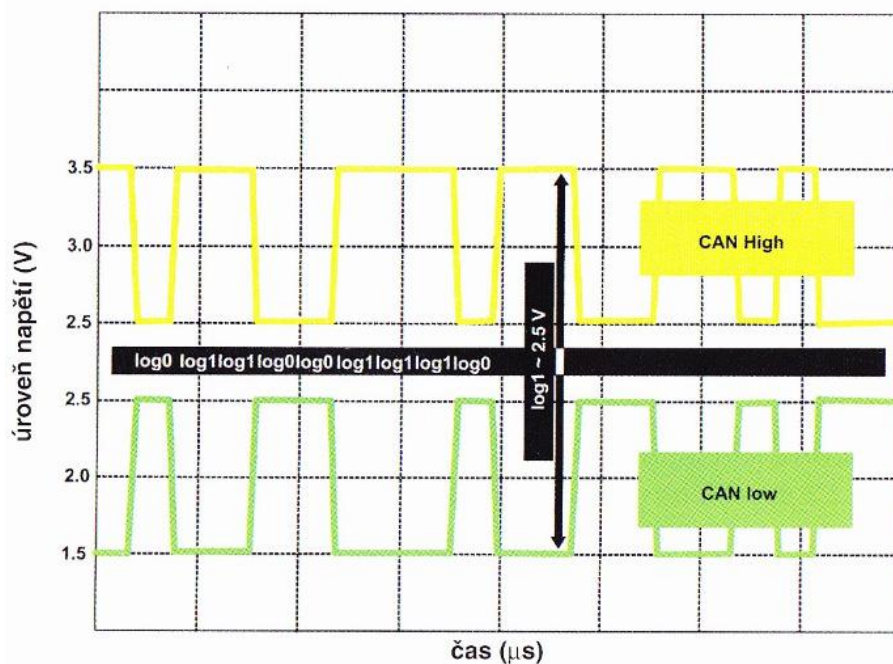
signálu). Počet zkroutení na jeden metr délky by měl činit 40, ovšem dnes se lze setkat v traktorech i kabely, které jsou odolné rušení díky stínění a zejména jsou odolnější me-



**Obr. 16** Používané vodiče pro datová vedení CAN-Bus (Bauer a kol., 2013)

chanickému poškození. Na konci linky se kvůli odrazu nacházejí terminátory (rezistory), které mají nominální ohmický odpor 120  $\Omega$  (minimálně 108  $\Omega$ , maximálně 132  $\Omega$ ).

Standard sběrnice uvažuje typické zpoždění přenosu 5 ns na 1 m délky vedení. Digitální komunikace po síti CAN má svoji podobu ve dvou vzájemně invertovaných signálech viz obr.17. (Štěřba, 2010)



**Obr. 17** Průběh napětí ve vodičích CAN\_L a CAN\_H (Bauer a kol., 2013)

Z průběhu na obr. 17 je patrné, že pokud bude diference mezi vodiči blízká nule, pak je stav označen jako logická 1 a její slovní označení je **recesivní**. Naopak bude-li diference v úrovni 2,5 V, pak se jedná o logickou 0, stav je nazýván jako **dominantní**.

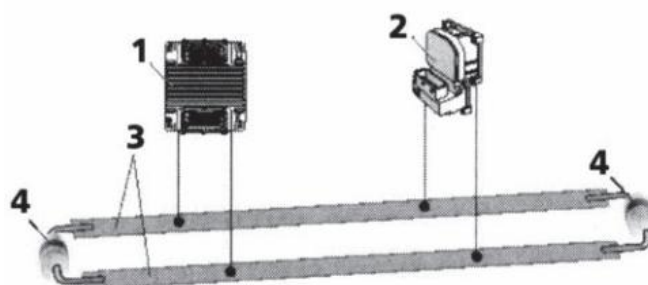
Důležité je dbát na rozdíl mezi napětovými úrovněmi a přiřazením k logickým hodnotám, jedná se o napětovou diferenci. Realizace stavu sběrnice recesivní je řešeno většinou zavřenými tranzistory, přičemž nula je zajištěna rezistory tak, že napětí na vodičích, tedy vzájemný potenciál, nepřesáhne práh. Dominantní stav je tvořen stav komplementárních tranzistorů, kdy pro CAN\_H se připojí na napájecí napětí a CAN\_L na nulu. (Štěrbá, 2010, Čupera 2010)

### 5.1.2 Komponenty sběrnice CAN-Bus

Na CAN-Bus mohou být připojené pouze řídicí jednotky. Ostatní komponenty, jako akční členy krokové motory, snímače, žárovky aj., jsou připojeny k těmto řídicím jednotkám konvenčním způsobem pomocí separátních vodičů. Jak již bylo řečeno, data jsou posílána po CAN-Busu ve formě napětových pulsů s definovanou amplitudou a šířkou.

Každá řídicí jednotka na CAN-Bus se chová jako transceiver (z anglického transmit – vysílat a recese – přijímat). To znamená, že je schopna informace přijímat i vysílat. Komunikaci probíhající po CAN-Busu lze přirovnat k běžnému telefonnímu hovoru, pouze lidská řeč je nahrazena napětovými signály. V době, kdy jedna řídicí jednotka „hovoří“, ostatní „naslouchají“. Je zřejmé, že ne každá informace vysílaná do CAN-Busu je potřebná pro funkci všech napojených systémů. Interní logika použije pouze „potřebné“ informace a ostatní ignoruje. CAN-Bus systém se obecně skládá z následujících komponent:

- řídicí jednotka,
- procesor,
- transceiver,
- CAN-Bus vodiče,
- Oddělovací tranzistory.



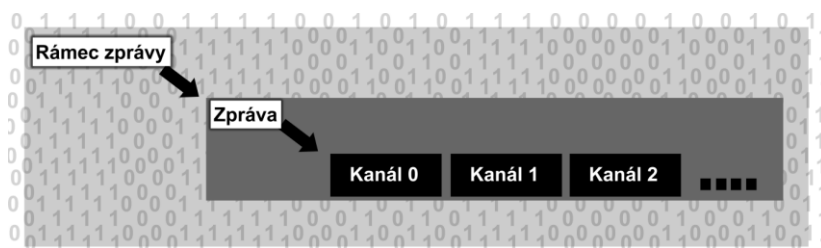
**Obr. 18** 1 - řídicí jednotka motoru, 2 - řídicí jednotka ABS, 3 - CAN-Bus vodiče, 4 - oddělovací rezistory (Vlk, 2005)

CAN-Bus je na obou koncích osazen oddělovacími rezistory, které zabraňují tomu, aby se informace po dosažení konce sběrnice vracela jako „ozvěna“ zpět, a tím rušila následující komunikaci. (Vlk, 2005)



### 5.1.3 Přenos informací po síti CAN-Bus

Sběrnice CAN je koncipována bez centrálního bodu, který by komunikaci řídil. Lze říci, že hierarchicky jsou si všechny uzly rovné a sběrnice tedy funguje jako multimas-ter. Takto postavená filosofie sítě nutně vyžaduje, aby některým ze známých mecha-nismů bylo rozhodnuto, která z informací je prioritní. CAN využívá způsobu přiřazení priority vlastnímu rámci. V rámci je pak obsažena zpráva a v ní jednotlivé kanály jak je zobrazeno na obr.19. (Štěrba, 2005)



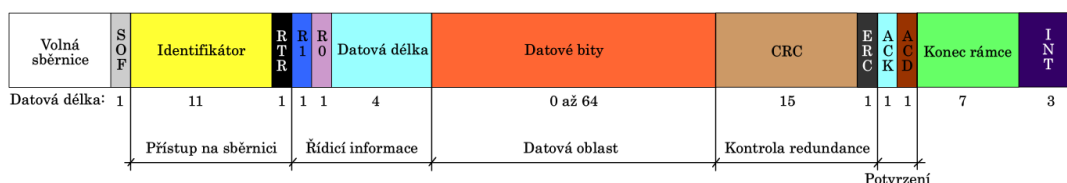
Obr. 19 Obsah rámce zprávy CAN-Bus (Štěrba, 2005)

Rámec, který je jedním uzlem vyslán, je přijímán všemi uzly, ovšem pouze některé uzly jej skutečně pro svoji činnost potřebují, např. řídicí jednotka motoru vysílá infor-maci o okamžité hodnotě točivého momentu, který je relevantní pro regulaci parametrů automatického řazení stupňové nebo plynulé hydromechanické převodovky, ale je neu-žitečný například pro jednotku regulace odpružení přední nápravy. Zahájení vysílání jakéhokoliv uzlu je možné pouze, je-li sběrnice „volná“. Kolizi zpráv zabraňuje definice sběrnice v linkové vrstvě.

Tyto nástroje zamezí tomu, aby jednotlivé uzly vysílaly „přes sebe“. Po sestavení zprávy v mikrokontroleru je kontrolována sběrnice, zda-li se nachází v BUS free stavu, interpretována recesivním stavem. V tomto okamžiku je nutná kontrola shody vysílané-ho signálu. Pokud tomu tak není, jedná se o kolizi vlivem chyby sběrnice, případně i vysílání jiných uzlů ve stejném taktu. Dojde-li ke stavu, kdy uzly chtějí vysílat zprávu, pak je nutné rozhodnout o tom, který bude mít přednost. V tom případě musí dojít k dohodě, tzv. arbitráži. Při arbitráži je rozhodnuto, který uzel „má právo“ zaslat rámec na sběrnici. Celý datový rámec je složen z několika částí. Ty se liší podle užití specifi-kace, určitým rozpoznávacím znakem je délka arbitrážního pole, která může mít 11 bitů (Bosch CAN 2.0A – obr.20), nazývá se také jako standardní, nebo 29 bitů (Bosch CAN 2.0B – obr.21) - rozšířený. (Štěrba, 2010, Čupera, 2010)

Podle funkce se rámce rozlišují jako:

1. Datový rámec (Data Frame) – obsahuje data vysílaná mezi uzly,
2. Řídící rámec (Remote Frame) – žádost o vysílání datového rámce se stejným identifikátorem,
3. Chybový rámec (Error Frame) – indikace chyby jakéhokoliv uzlu,
4. Rámec přetížení (Overload Frame) – umožňuje zastavení komunikace.



**Obr. 20** Obsah rámce dle specifikace Bosch CAN 2.0A (Čupera, 2010)

Legenda k polím v rámci specifikace 2.0A:

**SOF** – Start of frame – určuje začátek zprávy, má úroveň dominant,

**Identifikátor** – nese v sobě prioritu a dále podle protokolu určuje obsah zprávy,

**RTR** – Remote Transmission Request – definuje, jedná-li se o datovou zprávu (dominantní) nebo o žádost o data (recesivní),

**R1** – rezervovaný bit,

**R0** – rezervovaný bit,

**Datová délka** – DLC – nese počet datových bajtů,

**Datové bity** – obsahuje data, která se vyměňují mezi řídicími jednotkami,

**CRC** – kontrola součtu bitové sekvence

**ERC** – oddělovač CRC (recesivní),

**ACK** – Acknowledge Slot – potvrzovací bod,

**ACD** – Acknowledge Delimiter – oddělovač (recesivní),

**Konec rámce (EOF)** – ukončení rámce sedmi recesivními bity,

**INT** – intermission – mezera mezi zprávami.



**Obr. 21** Obsah rámce dle specifikace Bosch 2.0B (Čupera, 2010)

Rozdíl mezi specifikací 2.0A (Standard) a 2.0B (Extended) je v oblasti přístupu na sběrnici. Celkově má identifikátor 29 bitů, což výrazně rozšiřuje počet adres (tedy i zpráv).

Legenda k polím specifikace 2.0B:

**SRR** - Substitute Remote Request – nahrazuje bit RTR a je vždy recesivní, zabraňuje kolizi mezi rámci s 11bitovým a 29bitovým identifikátorem.

**IDE** – Identifier Extended – je recesivní a díky jeho poloze má přednost standardní rámec.

Ostatní pole jsou shodná se specifikací Bosch 2.0 A. (Bauer a kol., 2013)

#### 5.1.4 Komunikační rychlosti CAN-Bus

Komunikační rychlost je základním parametrem sítě. U traktorů je obvyklé, že pro komfortní systémy stačí rychlost 125 kb/s (existuje i varianta fault tolerant s jednovodičovým přenosem), ostatní CAN (motorový, hydraulika atp.) mají komunikační rychlost 250 kb/s, někteří výrobci zvažují přechod na 500 kb/s nebo dokonce 1 Mbps. (Štěrba, 2010)

Doporučené komunikační rychlosti				
(kb/s)				
5	12,5	31,25	80	200
<b>6,15</b>	15,625	33,333	83,333	<b>250</b>
<b>7,813</b>	16	40	100	400
<b>8</b>	20	50	<b>125</b>	500
<b>10</b>	25	62,5	160	800
<b>Maximální komunikační rychlost:</b>				1000

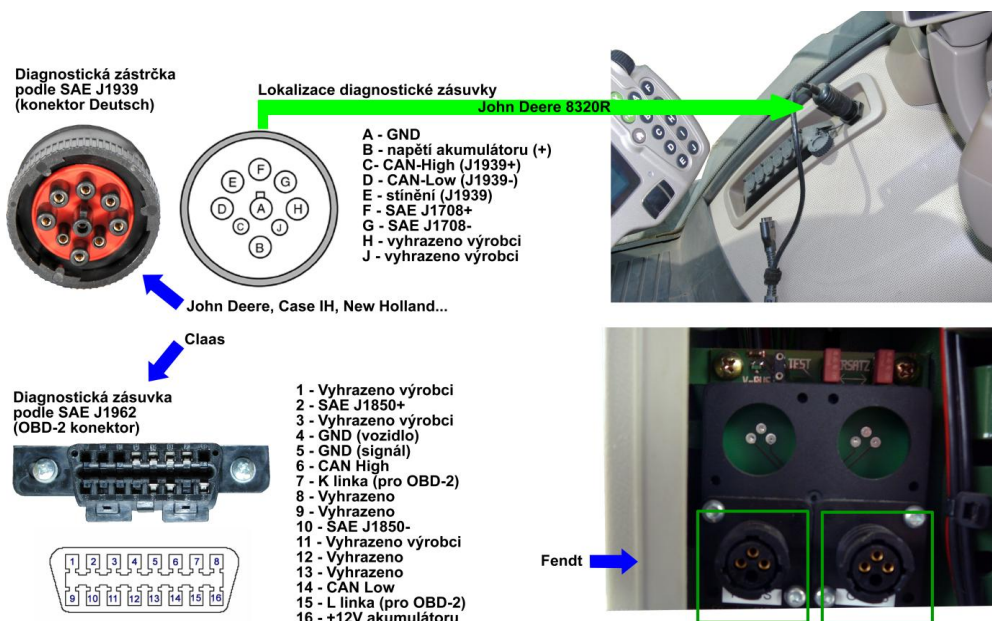
**Obr. 22** Komunikační rychlosti na sběrnici CAN (v kb/s podle standardizace), žlutě vybarvená pole jsou užitá pro traktor (Čupera, 2010)

#### 5.1.5 Přístup na sběrnici CAN

Pro sledování zpráv na sběrnici CAN je nutné nejprve najít vhodné místo připojení na sběrnici, což mnohdy znamená demontáž krytů, ale také se lze jednoduše připojit na

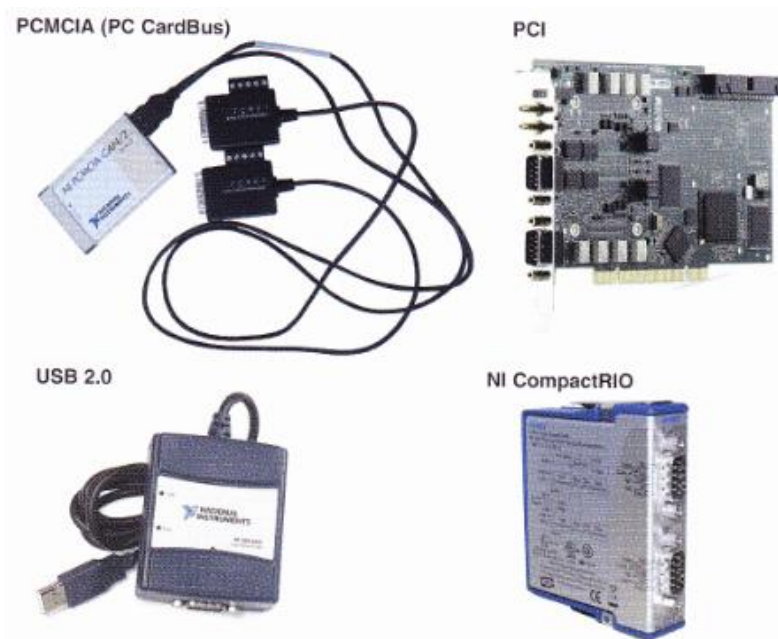


diagnostickou zásuvku. S největší opatrností se lze připojit přímo na vedení, případně si vytvořit odbočku z páteře, ale je třeba mít na paměti dovolené délky odboček, respektovat lze 1-2 m pro rychlosti  $250 \text{ kb}\cdot\text{s}^{-1}$ . Vodič lze identifikovat podle kroucení a dále podle barvy. Kroucení signalizuje datová vedení, což ovšem ještě neznamená, že jedná o CAN. Barevné značení je závislé na výrobci, obvyklé provedení je žlutá/zelená, zelená/bílá, oranžová/černá.



**Obr. 23** Příklad zásuvek palubní diagnostiky traktoru a jejich lokalizace (Bauer a kol., 2013)

Následně lze připojit komunikační převodník, jichž je na trhu celá řada. Tento převodník pak data ze sběrnice CAN předává na sběrnici, kterou je opatřen stolní nebo přenosný počítač. Nejlevnější jsou USB/RS232/LPT převodníky, jež staví na softwarovém zpracování dále v PC. Dále se tyto karty dělí podle sítí, které jsou schopny odposlechnout nebo s připojit jako nový uzel. Většinou jsou rozděleny na Low Speed CAN a High Speed CAN, toto dělení má důvod v použití jiných logických obvodů ve vlastním převodníku. Lze říci, že kvalitativně výše jsou postaveny karty s přenosem po PCI, PCMCIA a PCI ExpressCard. U těchto typů karet se většinou jedná o analytické nástroje, které s sebou nesou řadu podpurných obvodů a funkcí. Významní producenti komunikačních karet jsou společnosti Vector, Kvaser, National Instruments, ETAS a další.



**Obr. 24** Příklad komunikačních karet společnosti National Instruments (Bauer a kol., 2013)

Neméně důležité je softwarové prostředí pro naslouchání zpráv sběrnice CAN. Platí, že výrobci komunikačních karet pro CAN většinou dodávají svůj software. Bylo by neúčelné popisovat práci s jednotlivými programy, jejich uživatelské rozhraní, konfigurace apod. Avšak téměř všechny programy umožňují odposlech zpráv v režimu Bus Monitor, kdy se zprávy nepřevádí do konečné podoby srozumitelné obsluze, ale jsou zobrazeny např. v hexadecimálním kódu v pořadí: Identifikace – Datové pole. (Bauer a kol., 2013, Čupera, 2010)

## 6 MATERIÁL A METODIKA

### 6.1 Metodika měření

Zkoušky motoru byly zrealizovány v laboratoři na Ústavu techniky a automobilové dopravy na Mendelově Univerzitě v Brně. Cílem bylo stanovit úplnou otáčkovou charakteristiku traktorového motoru a ověřit možnosti využití dat ze sítě CAN-Bus.

Výkonové parametry motoru byly stanoveny měřením jmenovité a úplné charakteristiky. Stanovení ukazatelů na vývodovém hřídeli bylo prováděno dle ČSN 30 0415 čl. 21. a čl. 23 (ČSN-300415, 1986), výpočet základních ukazatelů dle čl. 37. Při všech zkouškách byly dodrženy všeobecné požadavky dané normou ČSN ISO 789-1 (ČSN-

ISO-789-1, 1990). Zkušební postup měření odpovídal bodu 6.1.3, uvedení výsledků bodu 6.1.5 a doplňující měření bodu 6.1.6 uvedené normy. Před zahájením zkoušek byla v řídicím programu zkušebny zadána konfigurace zkoušky. Při volbě konfigurace měření se zadává především umístění a počet snímačů (kanálů), rozsah otáček motoru, podmínky pro ustálení režimu motoru v jednotlivých měřených bodech, čas odečítání měřených hodnot, ze kterých se vypočte aritmetický průměr, mezní stavy jednotlivých veličin pro automatické ukončení zkoušky při nebezpečí havárie a případné další údaje potřebné pro řízení vlastního měření. Zkouška může probíhat buď v automatickém, nebo manuálním režimu.

## **6.2 Měření jmenovité otáčkové charakteristiky**

Po zahřátí provozních náplní traktoru na pracovní teplotu se nastaví plná dodávka paliva a po ustálení parametrů je zahájeno měření prvního bodu charakteristiky. Údaje ze všech snímačů jsou po nastavenou dobu (zpravidla 60 s) ukládány do paměti měřícího počítače v intervalu 55 ms. Po ukončení odpočtu měřených hodnot je na všech kanálech vypočten aritmetický průměr, který je uložen do paměti. Poté program zvolí další měřený bod podle předchozího zadání a po ustálení parametrů zahájí další měření.

Všechna měření byla opakována třikrát a výsledky byly vyhodnoceny graficky. Pro nakreslení jmenovité otáčkové charakteristiky byly použity průměrné hodnoty. Do grafu je vynášen výkon, točivý moment, měrná spotřeba a popřípadě další hodnoty v závislosti na otáčkách motoru. Všechny měřené hodnoty splňují ustanovení o dovolených mezích úchylných předepsaných normou ČSN ISO 789-1.

## **6.3 Měření úplné otáčkové charakteristiky**

Pro sestavení úplné charakteristiky bylo provedeno měření jmenovité a minimálně deseti částečných charakteristik motoru při snížené dodávce paliva. Všechna měření byla opakována třikrát, a pro vyhodnocení úplné charakteristiky byly použity průměrné hodnoty. Pro stanovení stejných měrných spotřeb na regulátorových větvích částečných charakteristik byla použita polynomická interpolace. Naměřené hodnoty točivého momentu a měrné spotřeby paliva byly metodou nejmenších čtverců proloženy polynomm. Stupeň polynomu byl volen tak, aby hodnota indexu determinace byla co nejvyšší a nakreslená křivka reprezentovala co nejpřesněji naměřené hodnoty.

Z polynomu byl pro požadovanou měrnou spotřebu vypočten točivý moment. Obdobně byla pro regulátorovou větev vypočtena rovnice lineární závislosti točivého mo-

mentu na otáčkách motoru. Dosazením dříve vypočteného točivého momentu do rovnice přímky v otáčkové charakteristice jsme získali otáčky, při kterých byla dosažena požadovaná měrná spotřeba paliva. Proložení hladké čáry takto vypočtenými hodnotami na všech regulátorových větvích v otáčkové charakteristice, je známa izočára jedné měrné spotřeby. Stejně se postupuje při vynášení izočár dalších měrných spotřeb. Do úplné charakteristiky byly také vyneseny hyperboly konstantních výkonů. Tyto hodnoty byly převedeny do programu MS Excel, kde probíhalo i vyhodnocení výsledků.

Zkoušky byly prováděny na traktoru John Deere 8320RT (obr.25), jehož základní údaje uváděné výrobcem jsou uvedené v následující tabulce (tab.3).



**Obr. 25** Pásový traktor John Deere 8320RT (<http://www.deere.com>)

**Tab. 3** Parametry pásového traktoru John Deere 8320RT

John Deere 8320RT		
Parametr	Hodnota	Jednotky
Rok výroby	2010	-
Počet motohodin	207,8	-
Jmenovitý výkon	239	[kW]
Max. výkon bez navýšení	255	[kW]
Jmenovitý výkon s navýšením	261	[kW]
Jmenovité otáčky	2 100 ot/min	[ot/min]
Max. točivý moment	1 419	[N.m] (při otáčkách 1500 ot/min)
Počet válců	6	-
Počet ventilů	24	-
Vrtání	118,4	[mm]
Zdvih	136	[mm]
Kompresní poměr	16,3	-
Objem motoru	9 000	[cm <sup>3</sup> ]
Pohon ventilátoru chlazení	Varicool- systém s proměnlivými otáčkami ventilátoru chlazení	
Přepřínování	Turbodmychadlo	
Vstřikovací systém	Vysokotlaký Common Rail s plně elektronickým řízením	
Typ	Powershift	
Počet převodových stupňů	16F/5R	
Šířka pásů	630	[mm]

#### 6.4 Dynamometr pro měření parametrů přes vývodový hřídel

K měření točivého momentu motoru byl použit dynamometr VÚES V500 připojený k zadní vývodové hřídeli traktoru přes kloubový hřídel viz obr.26. Dynamometr (charakteristika viz tab.4) využívá pro svoji funkci účinků vířivých proudů. Tyto vířivé proudy vyvolávají moment, jímž je brzděn rotor vůči statoru. Pomocí ramene na výkyvném statoru se tento moment přenáší na tenzometrický snímač síly. Mechanická energie je v dynamometru přeměněna na tepelnou, která je odváděna chladicí vodou. Regulaci dynamometru a snímání naměřených údajů zajišťuje řídicí počítač vozidlové zkušebny a server dat. V grafu na obr.27 je zobrazena charakteristika vířivého dynamometru V500.

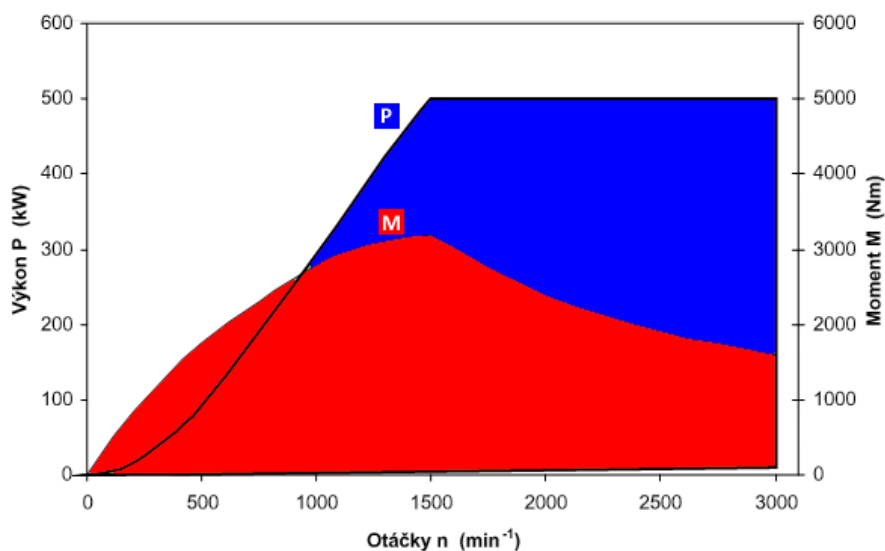




**Obr. 26** Vířivý dynamometr V500 připojený k vývodové hřídeli pásového traktoru

**Tab. 4** Parametry vířivého dynamometru VÚES V500

Parametr	Hodnota
Maximální otáčky ( $\text{min}^{-1}$ )	3000
Maximální točivý moment (Nm)	1592
Maximální výkon (kW)	500
Chlazení	Vodní, max. výstupní teplota $52^{\circ}\text{C}$



**Obr. 27**  $M, P$  charakteristika dynamometru VÚES V500

## 6.5 Hmotnostní měření spotřeby

Systém měření spotřeby sestává z Coriolisových hmotnostních průtokoměrů (specifikace viz tab.5), které byly do palivové soustavy zapojeny diferenciálně (viz obr.28). Z hlediska výsledné chyby se sice jedná o méně vhodnou variantu, ovšem technicky nedochází k možnosti ovlivnění palivové soustavy vlivem hydraulických změn v systému. Pro dané typy průtokoměrů platí, že celková chyba měřicího řetězce je pod 1% z průtoku je v rozsahu 9kg/h až 300 kg/h.

**Tab. 5** Technická specifikace pořízených průtokoměrů

Výrobce	Siemens
Typ	Sitrans F C
Typ sensoru	Mass 2100 DI6
Měřicí rozsah	0 - 1000 kg/h
Hustota	0 - 2900 kg/m <sup>3</sup>
Teplota	-50°C +180°C
Max. tlak	26,5 MPa
Výstupní signál	4-20 mA
Ex version	ano



**Obr. 28** Coriolisovy hmotnostní průtokoměry v diferenciálním zapojení

## 6.6 Přesnost hodnoty spotřeby paliva

Cílem měření bylo ověření možnosti využití signálů ze sítě CAN-Bus traktoru pro měření okamžité spotřeby paliva traktorového motoru při jeho nasazení v provozu. K tomu účelu bylo nutné provést porovnání signálů z interních snímačů traktoru s údaji externích průtokoměrů. Pro posouzení možnosti využití údajů o aktuální hodinové spotřebě paliva ze sítě CAN, udávaném v l/h, bylo nutné porovnat údaje ze sítě s daty naměřenými exaktním měřícím zařízením. Protože všechna měření probíhala při ustálených podmínkách včetně teploty paliva, je možné kalkulovat poměr hodinové spotřeby z Coriolisových průtokoměrů a z CAN podle vztahu:

$$\rho = \frac{M_{phCor}}{M_{phCAN}} \quad [\text{kg/l}] \quad (2)$$

Výsledná hodnota by měla být konstantní. Pro stanovení skutečných odchylek hodinové spotřeby ze sítě a z průtokoměrů, byla dopočítána pro všechna měření objemové spotřeby z CAN spotřeba hmotnostní pomocí vztahu:

$$M_{phCANh} = M_{phCAN} \cdot (0,00298t^2 + 0,9068t + 845,6) \cdot 10^{-3} \quad [\text{kg/h}] \quad (3)$$

Rozdílem obou hmotnostních spotřeb byly stanoveny odchylky mezi exaktně naměřenou spotřebou a spotřebou paliva odečtenou ze sítě traktoru:

$$\Delta M_{ph} = M_{phCor} - M_{phCANh} \quad [\text{kg/h}] \quad (4)$$

## 6.7 Snímání otáček

Otáčky dynamometru jsou měřeny pulzním snímačem LUN 1326.02-8, který je součástí dynamometru. Signál ze snímače je po úpravě tvarovacím obvodem přiveden do měřícího počítače zkušebny.

## 6.8 Snímání hodnot ze sítě CAN-Bus

Kromě měření jednotlivých hodnot pomocí snímačů zkušebny, bylo u všech uvedených zkoušek, prováděno odečítání hodnoty ze snímačů vozidla prostřednictvím digitální komunikační sběrnice CAN-Bus připojené k měřicímu počítači. Síť traktoru odpo-



vídající standardům ISO umožňuje odečítat otáčky motoru, zatížení motoru, aktuální točivý moment, teplotu oleje, teplotu chladicí kapaliny a další hodnoty.

## 6.9 Ostatní měřené veličiny

Experimentální práce nutně vyžadovala množství dalších měřených veličin. V obecné rovině byly měřeny tlaky piezoresistivními snímači tlaku (tlak sání nebo plnění, atmosférický tlak atp.), teploty (sání, plnění, motorového oleje, paliva) termočlánky typu K, vlhkost vzduchu psychrometrem, průtok vzduchu pro spalování hmotnostním anemometrem. Dále byla monitorována sběrnice CAN, konkrétní zprávy budou zmíněny u jednotlivých experimentů.

## 6.10 Použité výpočtové vztahy

### 6.10.1 Výkon motoru

Výkon na vývodové hřídeli se vypočte z naměřeného točivého momentu a otáček pomocí vztahu:

$$P = \frac{M \cdot \pi \cdot n}{30} \quad [\text{kW}] \quad (5)$$

kde:  $M$  – průměrný točivý moment [Nm],

$n$  – otáčky vývodového hřídele [ $\text{min}^{-1}$ ].

### 6.10.2 Měrná spotřeba paliva

Hodinové spotřeby a výkonu se vypočte měrná spotřeba motoru přes vývodovou hřídel ze vztahu:

$$m_p = \frac{M_{ph}}{P} \cdot 10^3 \quad [\text{g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (6)$$

kde:  $M_{ph}$  – hmotnostní hodinová spotřeba [ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ],

$P$  – výkon motoru [kW].

### 6.10.3 Hodinová spotřeba paliva

Hodinové spotřeby a výkonu se vypočte měrná spotřeba motoru přes vývodovou hřídel ze vztahu:

$$M_{ph} = V_{ph} \cdot \rho \quad [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (7)$$

kde:  $V_{ph}$  – hodinová objemová spotřeba [ $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ ],  
 $\rho$  – měrná hmotnost paliva [ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ]

### 6.10.4 Převýšení točivého momentu

Převýšení momentu motoru se vypočte ze vztahu:

$$\Delta M = \frac{M_{\max} - M_j}{M_j} \cdot 100 \quad [\%] \quad (8)$$

kde:  $M_{\max}$  – maximální točivý moment motoru [ $\text{Nm}$ ],  
 $M_j$  – točivý moment při jmenovitých otáčkách [ $\text{Nm}$ ].

### 6.10.5 Pokles otáček

Pokles otáček od jmenovitých po otáčky při maximálním točivém momentu se udává v procentech a stanoví se pomocí vztahu:

$$\Delta n = \frac{n_j - n_{M_{\max}}}{n_j} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde:  $n_j$  – jmenovité otáčky motoru [ $\text{min}^{-1}$ ],  
 $n_{M_{\max}}$  – otáčky motoru při maximálním točivém momentu [ $\text{min}^{-1}$ ]. (9)

## 7 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A DISKUSE

### 7.1 Jmenovitá otáčková charakteristika

Měření jmenovité otáčkové charakteristiky probíhalo dle navržené metodiky a bylo provedeno v rozsahu 1200 – 2200  $\text{n}^{-1}$ . Jmenovitá charakteristika motoru s vnesením průběhu výkonu, točivého momentu a měrné spotřeby je uvedena v grafu na obr.29. Na Obr. 30 je jmenovitá otáčková charakteristika s vnesením průběhu zatížení Load, aktuálního momentu a točivého momentu motoru v závislosti na otáčkách.

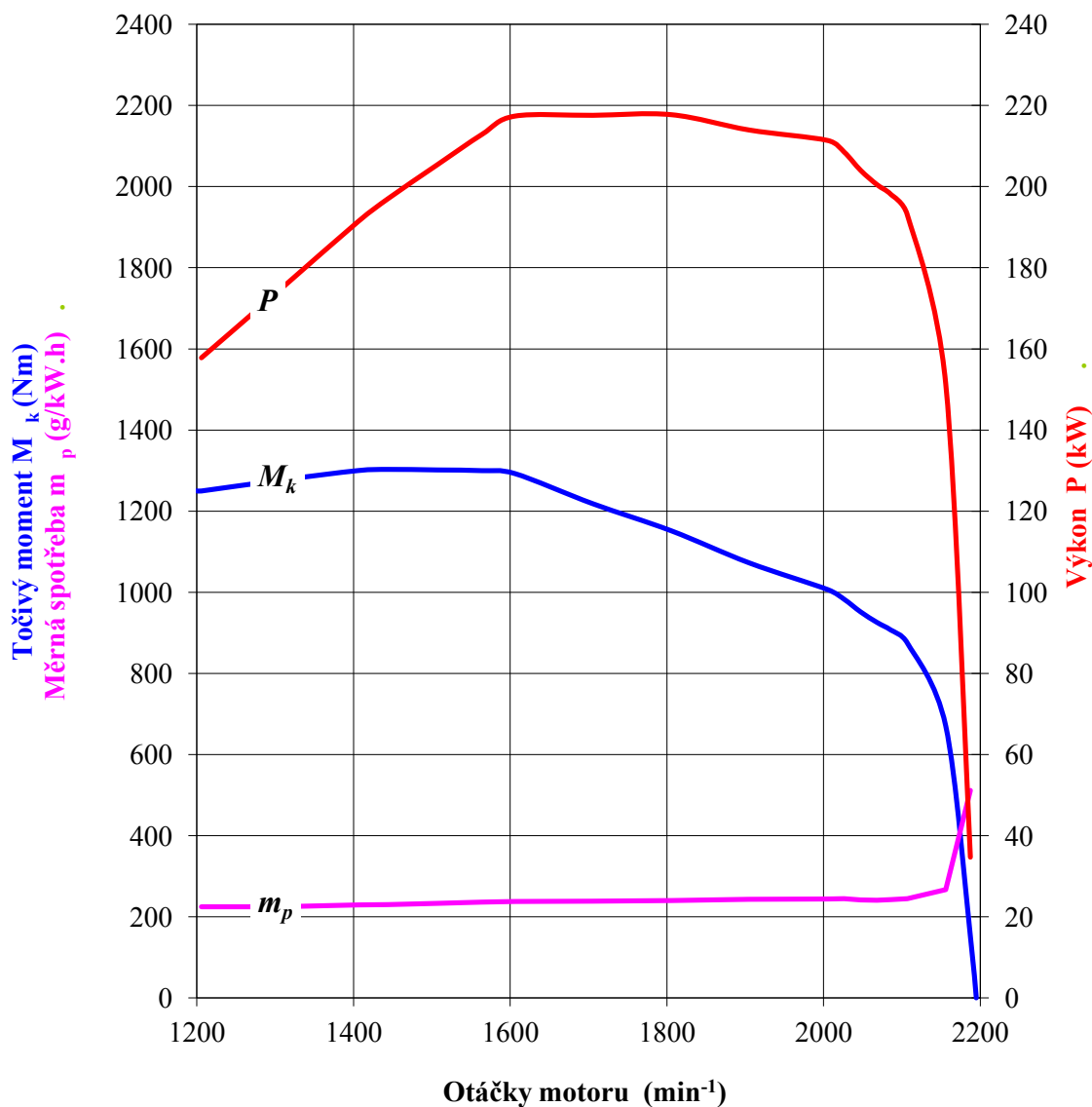
**Tab. 6** Výsledky měření jmenovité charakteristiky motoru pásového traktoru JD 8320RT

Otáčky	Točivý moment	Výkon	Hodinová spotřeba	Hodinová spotřeba	Zatížení	Aktuální moment	Měrná spotřeba
n	$M_t$	P	$M_{ph\_cor}$	$M_{ph\_can}$	Load	$M_{t\_akt}$	$m_p$
$min^{-1}$	Nm	kW	kg/h	l/h	%	%	g/kWh
2187	151.4	34.7	17.7	19.8	39	27	511.5
2156	670.2	151.3	40.4	48.1	91	67	266.7
2107	875.3	193.1	47.2	55.6	100	79	244.5
2086	906.8	198.1	48.0	56.7	100	81	242.2
2068	925.8	200.5	48.2	57.6	100	83	240.6
2047	951.5	204.0	49.3	58.5	100	85	241.8
2026	982.7	208.5	51.0	59.5	100	87	244.5
2005	1006.6	211.4	51.5	60.5	100	89	243.7
1905	1072.7	214.0	52.0	61.6	100	93	243.1
1806	1151.6	217.7	52.2	61.8	100	97	239.8
1706	1218.3	217.6	51.9	61.6	100	102	238.7
1606	1292.8	217.4	51.7	61.5	100	107	237.9
1564	1299.8	212.9	50.3	59.7	100	107	236.1
1507	1301.6	205.4	47.8	57.0	100	107	232.9
1444	1302.9	197.1	45.4	54.0	100	106	230.5
1406	1299.9	191.3	43.9	52.1	100	106	229.5
1304	1275.8	174.2	39.2	46.3	100	104	224.8
1206	1249.6	157.8	35.5	42.0	100	103	225.0

### 7.1.1 Jmenovitá otáčková charakteristika s vynesemím P, $M_k$ a $m_p$

Z průběhu jednotlivých parametrů je vidět, že při testování motoru byl naměřen maximální výkon 217,7 kW při otáčkách 1800  $min^{-1}$ , přičemž výkon 217 kW byl naměřen v rozmezí otáček 1600 – 1800  $min^{-1}$ . Motor vykazuje v široké oblasti otáček od 1500  $min^{-1}$  až po jmenovité otáčky téměř konstantní výkon, což je dáno velkým převýšením točivého momentu motoru. Nejvyšší točivý moment 1303 Nm byl naměřen při otáčkách 1440  $min^{-1}$ . Nejnižší měrná spotřeba paliva byla naměřena 224,8 g/kWh při

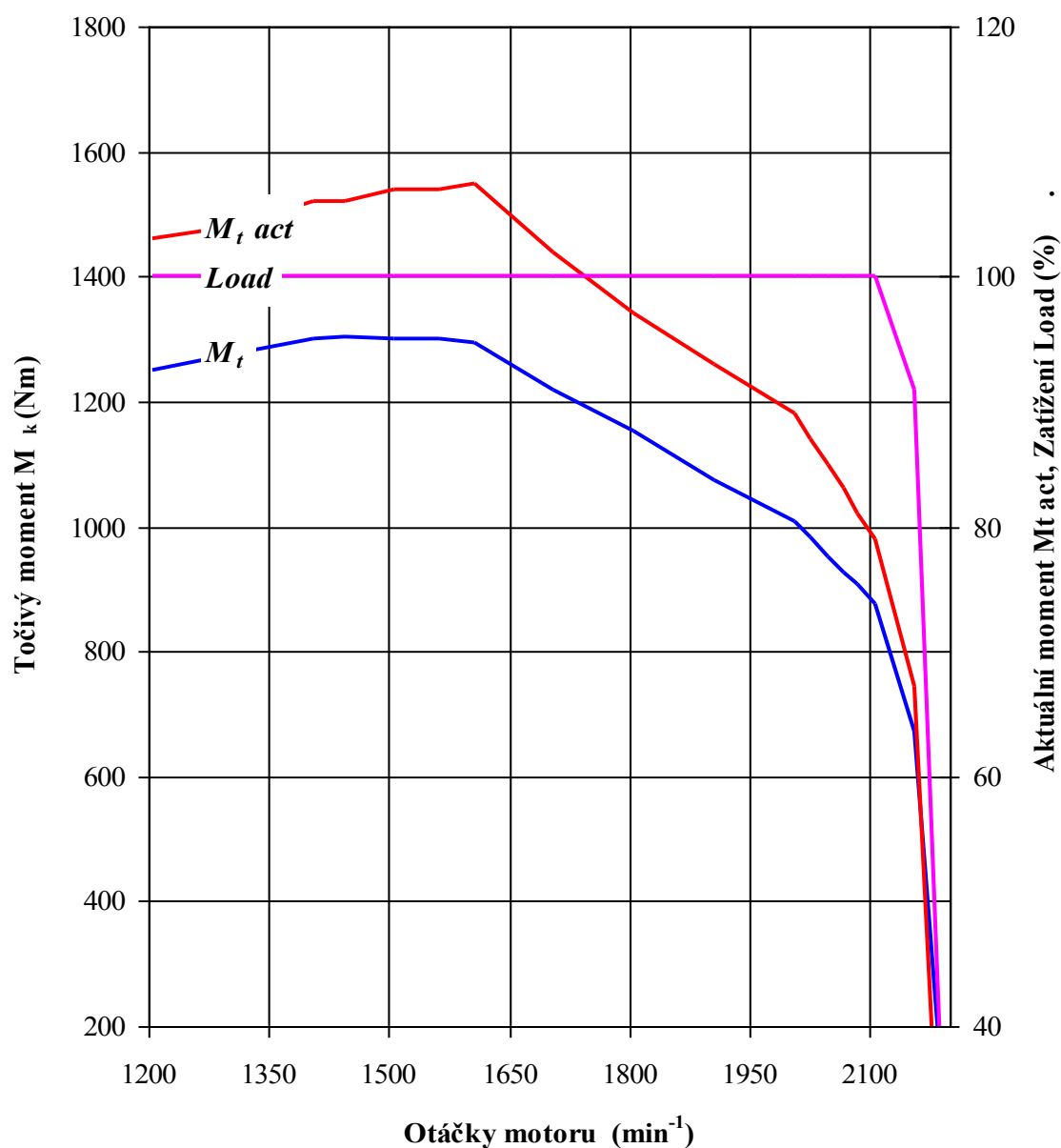
otáčkách  $1300 \text{ min}^{-1}$ . Průběhy jednotlivých parametrů jsou vykresleny v následujícím grafu.



**Obr. 29** Jmenovitá charakteristika motoru pásového traktoru JD 8320RT

### 7.1.2 Jmenovitá otáčková charakteristika s vynesemím Load, $M_{t\_akt}$ a $M_k$

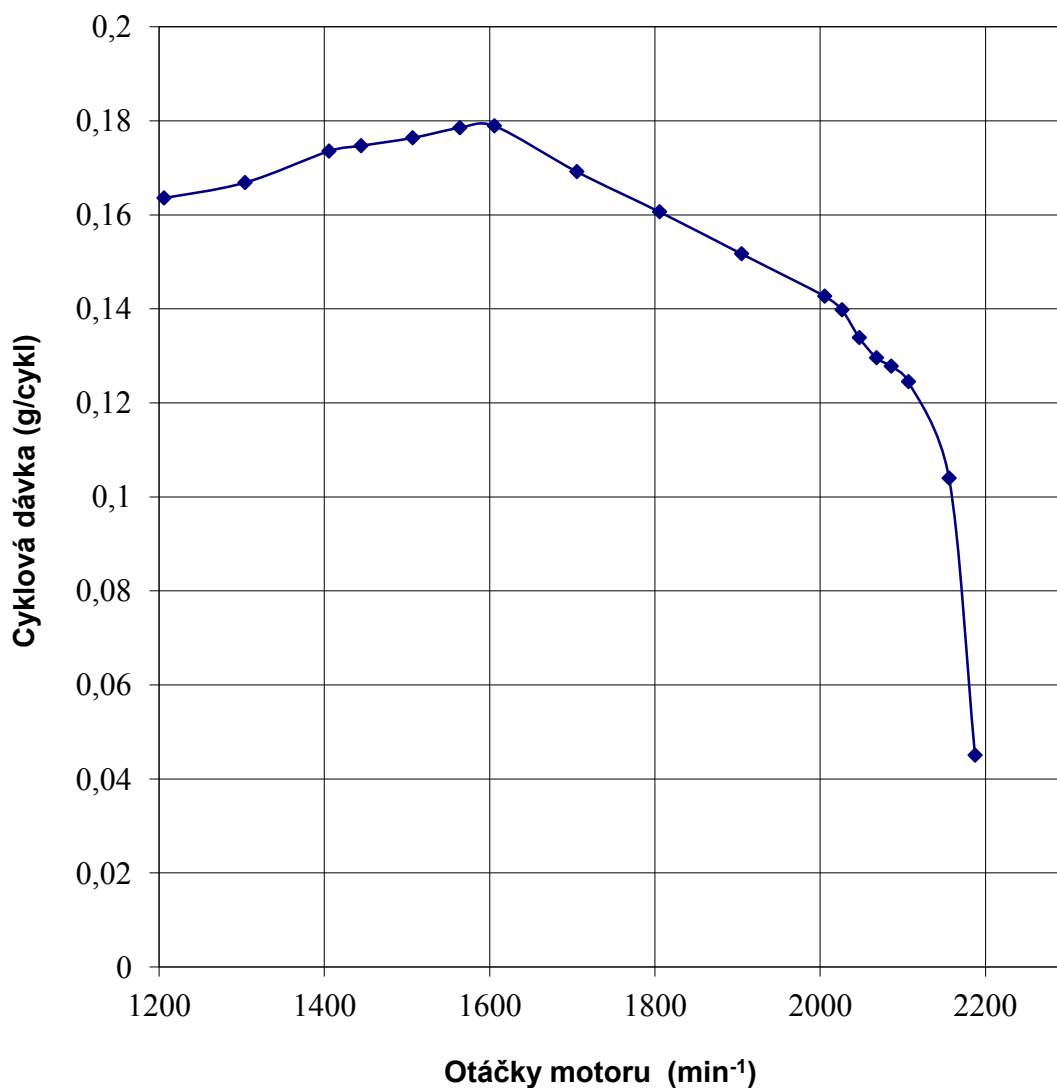
Průběh zatížení Load, aktuálního momentu a točivého momentu motoru v závislosti na otáčkách je znázorněn na obr.30. Průběh zatížení (Load) motoru snímaného ze sítě CAN je standardní, při jmenovitých otáčkách dosáhlo zatížení hodnoty 100 % a v celé oblasti zatěžovací větve jmenovité charakteristiky zůstává rovno 100 %.



**Obr. 30** Jmenovitá charakteristika s průběhem zatížení (Load) a aktuálního točivého momentu motoru pásového traktoru JD 8320RT

### 7.1.3 Cyklová dávka

Charakteristika cyklové dávky paliva v závislosti na otáčkách motoru (viz obr.31) ukazuje průběh dávkování paliva během zkoušky. Cyklová dávka udává, jaká je vstříkovaná hmotnost paliva na jeden pracovní cyklus motoru, což je na dvě otáčky klikového hřídele. Maximální hodnota cyklové dávky 0,179 g/cykl byla naměřena při 1600 min<sup>-1</sup>.



**Obr. 31** *Cyklová dávka paliva motoru pásového traktoru JD 830RT*

## 7.2 Úplná charakteristika s měrnou spotřebou paliva

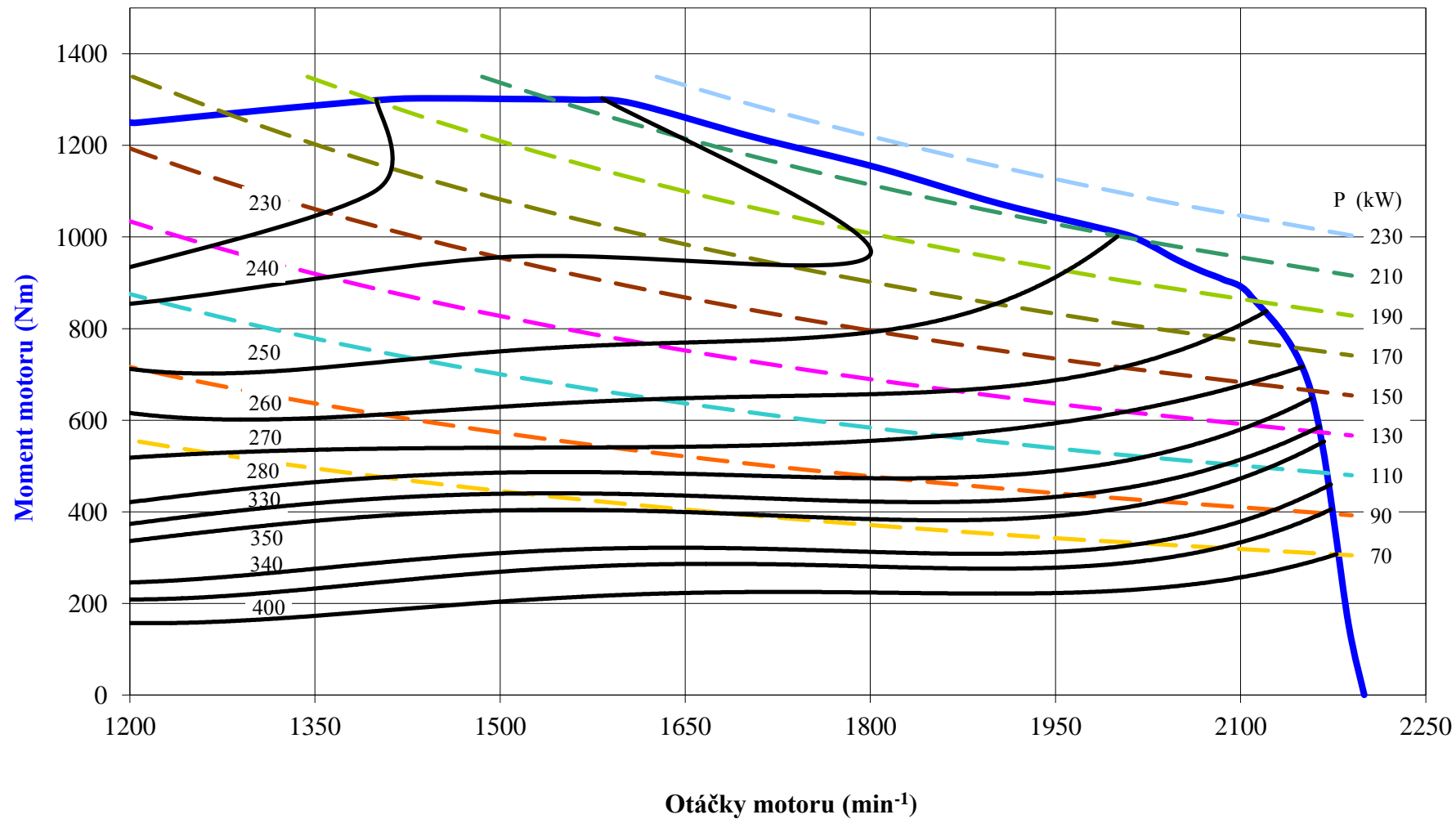
Aby bylo možné přiřadit datům z CAN-Bus konkrétní hodnoty točivého momentu motoru, musela být sestavena ze získaných naměřených údajů úplná charakteristika měrných spotřeb. V grafu jsou vyneseny izočáry konstantních měrných spotřeb a izočáry konstantních výkonů. Z grafu (viz obr.32) je vidět, že měrná spotřeba dosahuje, pro nižší otáčky jak jmenovité a moment vyšší jako 900 Nm, hodnot nižších jako 240 g/kWh. Uvedený graf dává přehled o tom, s jakou účinností dochází v motoru k přeměně energie dodané v palivu na mechanický výkon.

### **7.3 Úplná charakteristika aktuálního točivého momentu**

Úplná charakteristika aktuálního momentu motoru je vynesena v grafu na obr.33. Při posouzení charakteristiky zjistíme značné odchylky od skutečně naměřených hodnot. Je zřejmé, že směrem k vyšším otáčkám chyba údajů ze sítě CAN-Bus narůstá a ve směru k vyšším zatížením zase klesá. Pokud chceme uvedené hodnoty ze sítě využít v provozním měření, je nutné provést jejich ocejchování s výpočtem regresních rovnic pro co nejpřesnější výpočet okamžitého výkonu, popř točivého momentu motoru.

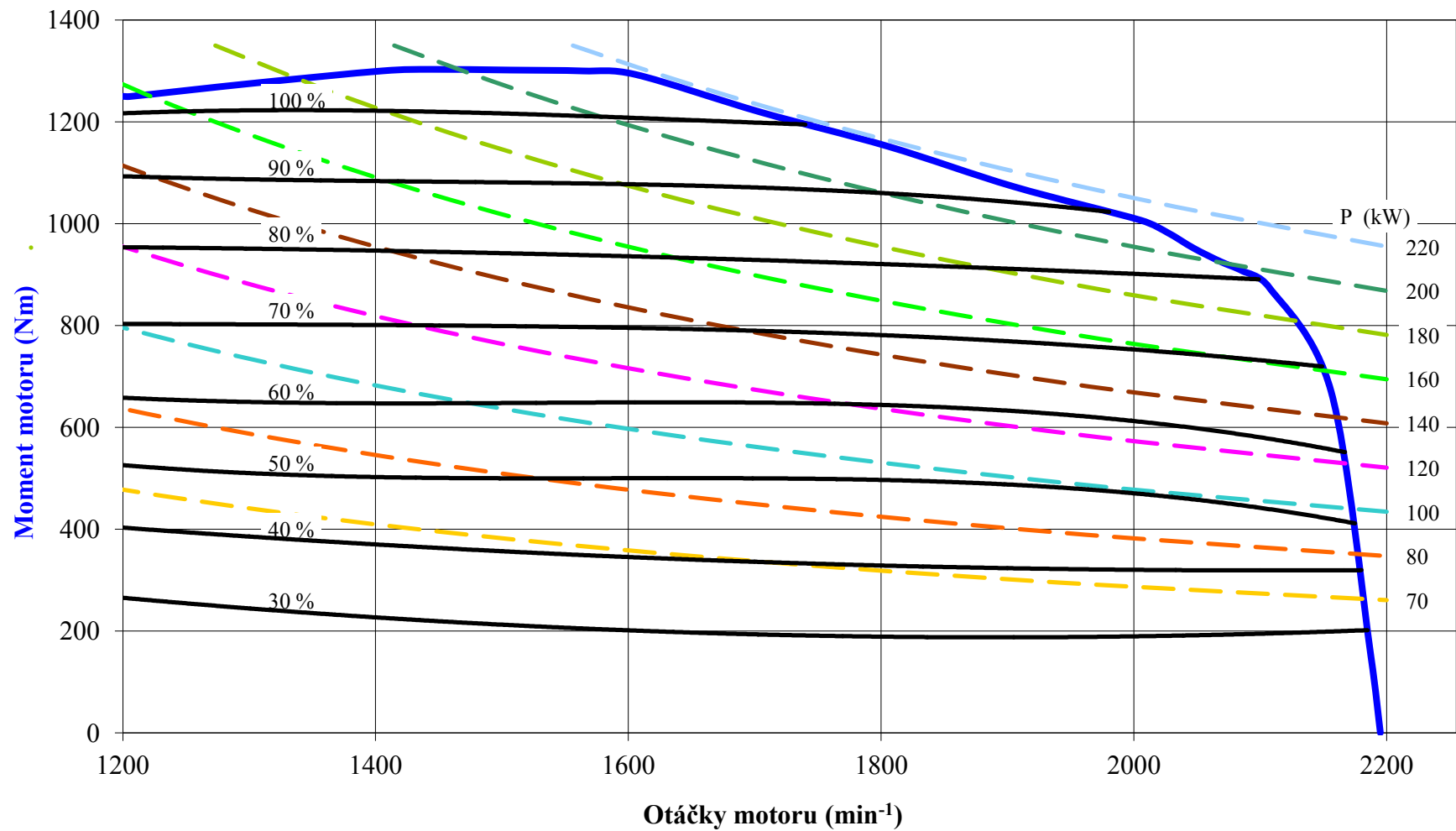
### **7.4 Úplná charakteristika zatížení motoru (Load)**

Úplná charakteristika zatížení (Load) odečítaného ze sítě traktoru je vynesena v grafu na obr.34. Na obrázku je vidět, že izočáry konstantních zatížení kopírují průběh jmenovitého točivého momentu motoru. Pokud se zaměříme na nižší hodnoty zatížení, zjistíme poměrně značné odchylky od skutečně naměřených hodnot jako v případě aktuálního točivého moment. Např. při zatížení motoru 34 % a nízkých otáčkách motoru je odchylka od skutečného točivého momentu téměř 25 %. Se zvyšováním otáček tato chyba ještě narůstá a při jmenovitých otáčkách je již více jako 60 %. Směrem k vyšším hodnotám odchylka klesá.

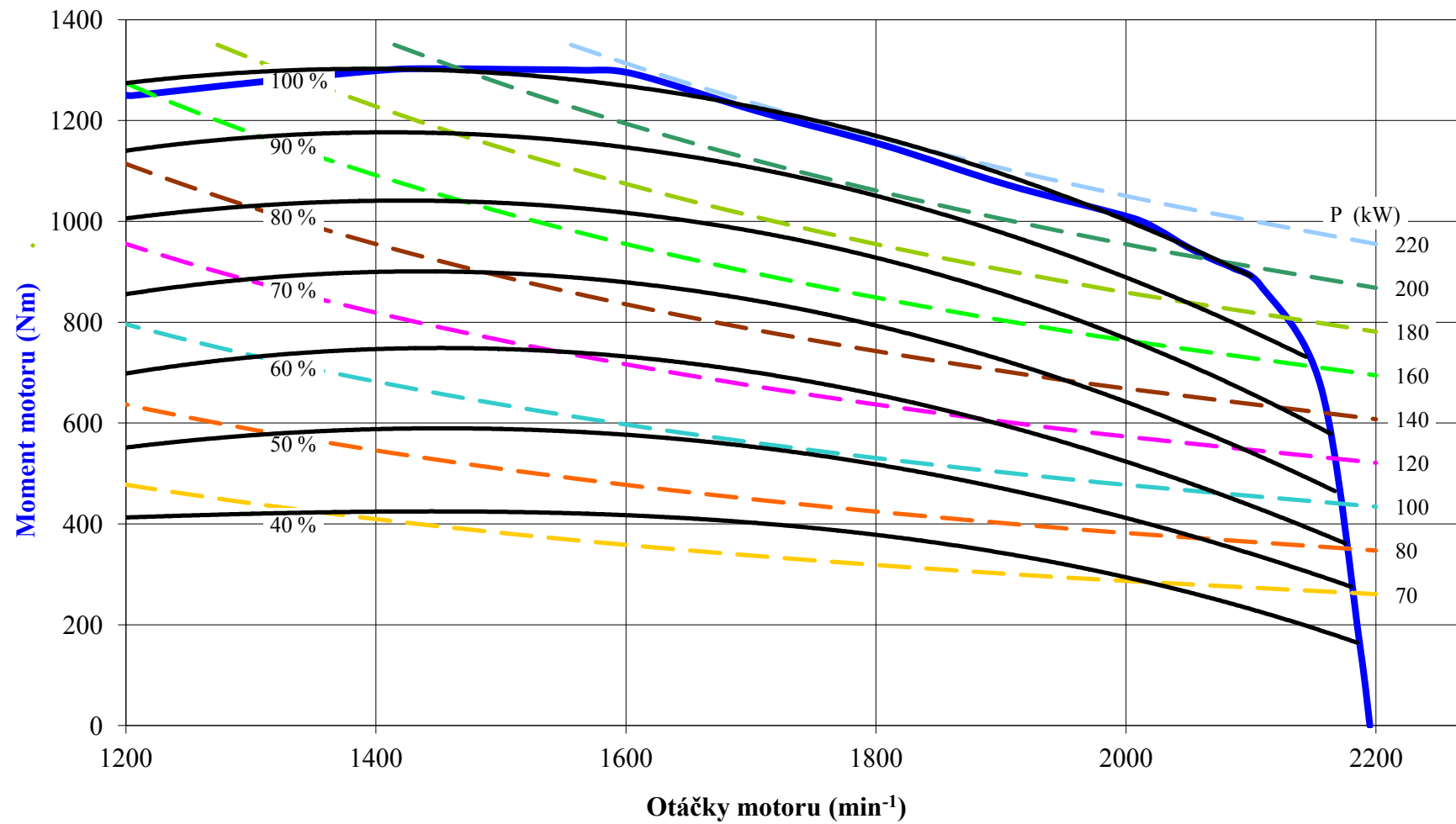


**Obr. 32** Úplná charakteristika měrné spotřeby paliva motoru pásového traktoru JD 8320RT měřeno přes PTO





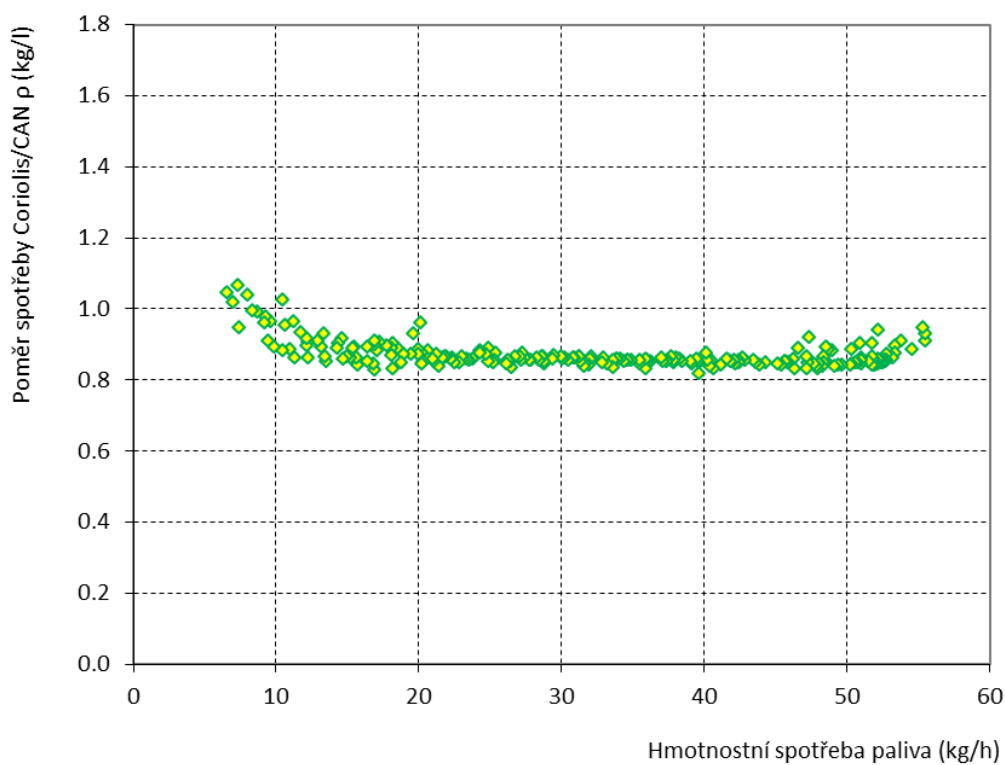
**Obr. 33** Úplná charakteristika aktuálního točivého momentu motoru ze sítě CAN-Bus pásového traktoru JD 8320RT



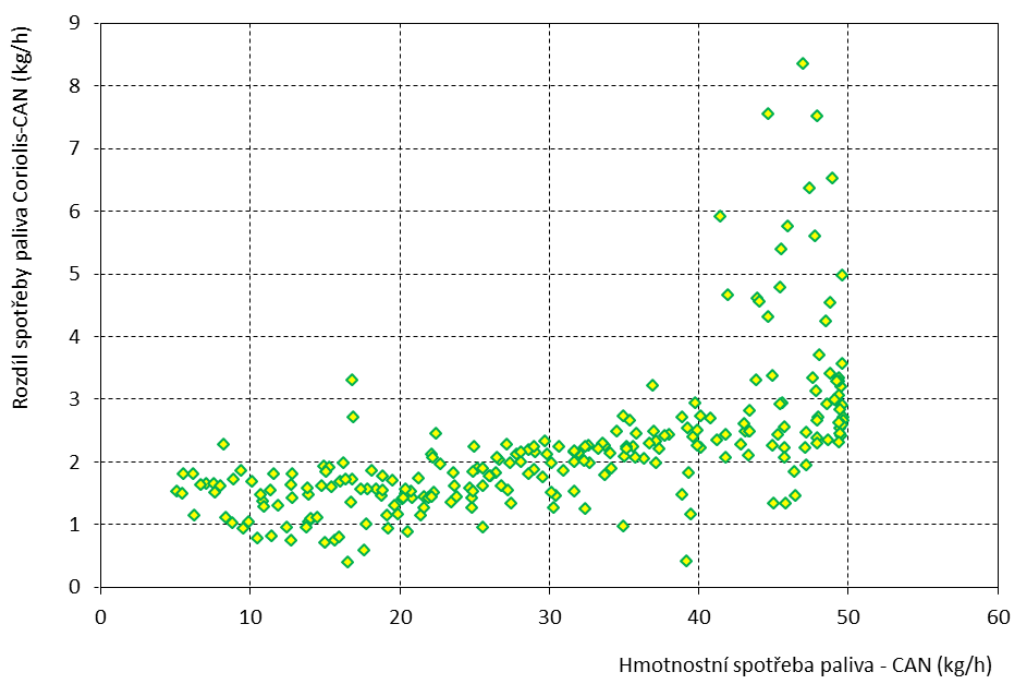
**Obr. 34** Úplná charakteristika zatížení (Load) motoru ze sítě CAN-Bus pásového traktoru JD 8320RT

## 7.5 Přesnost hodnoty spotřeby paliva

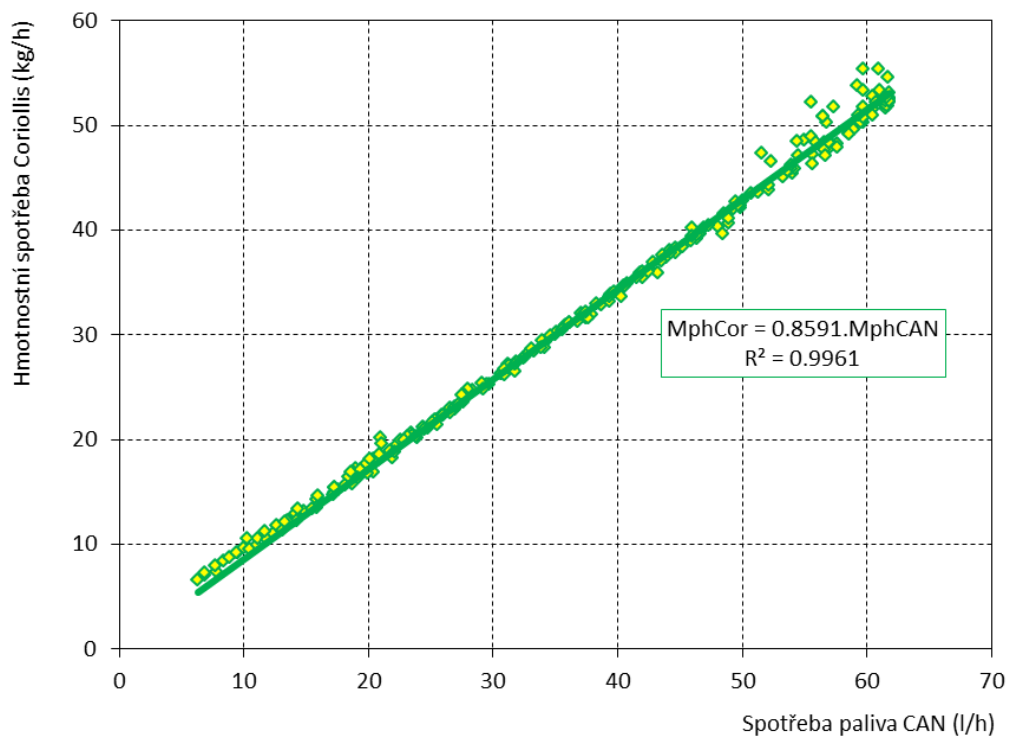
Pro vyhodnocení byl vypočten poměr spotřeby z průtokoměru a spotřeby ze sítě CAN. Vypočtený poměr je vyneseno do grafu na obr.35. Jak je z grafu patrné, také zde byly zjištěny odchylky od konstantního průběhu a to především pro spotřeby nižší než 15 kg/h a vyšší než 45 kg/h. Pro zjištění skutečné chyby, byly vypočteny rozdíly v hmotnostních spotřebách z průtokoměru a ze sítě traktorů. Výsledek je vyneseno do grafu na obr.36. Z grafu je patrné, že odchylky spotřeby odečtené z CAN od naměřené se pohybují od +0,39 do +8,4 kg/h. Také v tomto případě lze odpočet spotřeby ze sítě traktoru významně zpřesnit využitím regresní funkce odvozené v grafu na obr.37 a v tab.7 a tab.8. Výsledku testů obsažených v tabulkách prokazují vysokou významnost testovaných parametrů regrese. Pro stanovení skutečné spotřeby může být tedy použita vypočtená regresní funkce, s výrazně nižší chybou viz obr.38.



**Obr. 35** Poměr spotřeby paliva měřené průtokoměrem a zjištěné ze sběrnice CAN na hmotnostní spotřebě



**Obr. 36** Odchyly spotřeby zjištěné Coriolisovým průtokoměrem a ze sběrnice CAN



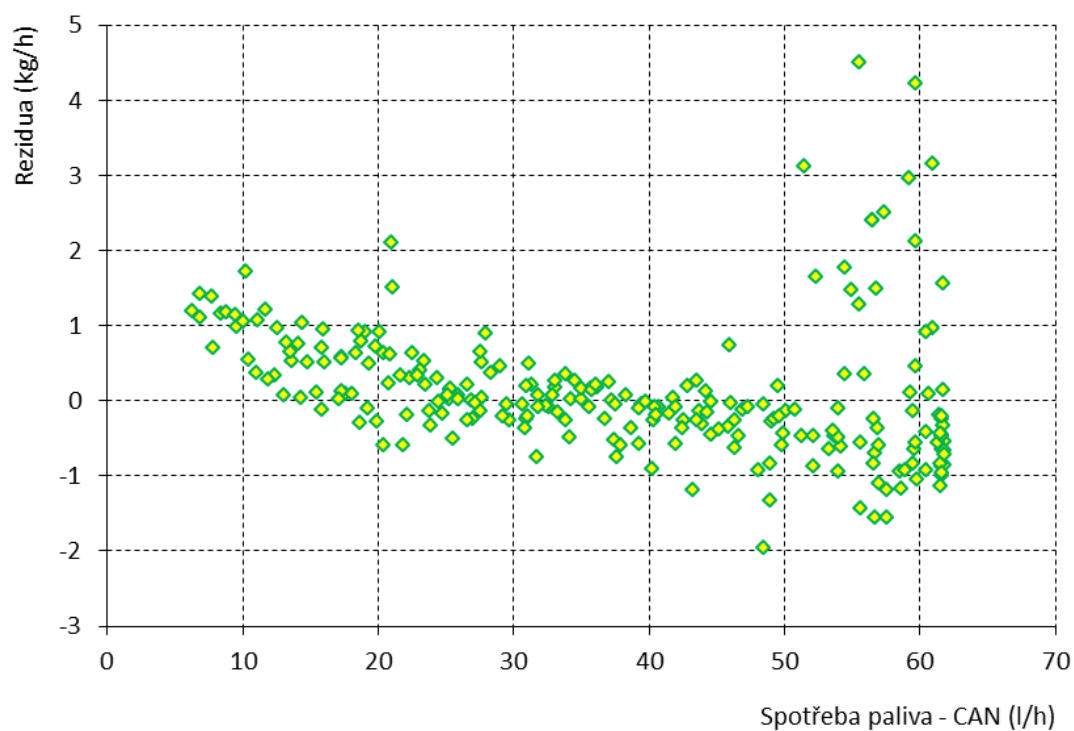
**Obr. 37** Závislost spotřeby zjištěné Coriolisovým průtokoměrem na spotřebě z CAN

**Tab. 7** *Analýza variance*

	<i>St. volnosti</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Významnost F</i>
Regrese	1	310569,9	310569,9	391737,4	>>0,0010
Rezidua	245	194,2363	0,792801		
Celkem	246	310764,1			

**Tab. 8** *Výpočet koeficientu regresní funkce a jeho významnosti*

	<i>Koeficienty</i>	<i>Směrodat. odch. koef.</i>	<i>t stat</i>	<i>Hodnota P</i>
Intercept	0			
Mph_CAN	0,859081	0,001373	625,8893	>>0,001



**Obr. 38** *Reziduální odchylky hmotnostní spotřeby paliva od regresní přímky*

## 7.6 Diskuse

Výše zmíněná analýza přesnosti údaje spotřeby, která je sběrníci CAN poskytována, byla provedena pro rozsáhlejší globální užití, tak jak již bylo dříve naznačeno, například pro účely tvorby emisních map či jiné environmentální účely, případně ekonomické vyjádření externalit dopravy. Světově nevýznamnější je zřejmě metodika dle EPA (EPA, 2005), kdy je na základě druhu a spotřeby paliva kalkulována produkce CO<sub>2</sub>. Mnoho dlouhodobých monitorů provozu vozidel vychází z nepřímého měření spotřeby paliva na základě znalosti zprávy CAN či parametru palubní diagnostiky, např. OBD-2. Jmenovitě pro výzkum ekologického chování řidičů byl vytvořen systém trasování dle GPS se záznamem parametrů z interních prostředků vozidla (Beusen, a další, 2009). Z provedených měření na Mendelu je patrné, že zpráva sběrnice CAN je v každém případě zatížena chybou. Není účelné polemizovat s reálnou rozlišovací schopností systému v parametrech jednotka/bit, normativy užívané v traktorech respektují výrazně vyšší rozsah fyzikálních veličin. K diskusi je ovšem námět přesnosti regulačního systému motoru traktoru, resp. analytická schopnost inženýra, který se implementací protokolu zabývá. Zpráva FEF2 – Fuel Economy (SAE, 2011), která je obvykle užitá interpretuje hodnotu v 16ti bitech s opakováním transmise po 100 ms. Podle SAE J1939-71 je definice spotřeba paliva za jednotku času vágní. Tématem se také zabýval Watson a kol. (Watson, a další, 2008), kteří prováděli měření ve stacionárním režimu motoru JD 4045T, přičemž jejich měření vykazovalo vždy vyšší spotřebu skutečného průtoku, než udávala sběrnice CAN. Tato pozorování pak aplikovali na kalibrační funkci při změně paliva na LPG.

Z uvedených výsledků je patrné, že i když se jednalo o motory stejného výrobce, jsou výrazné rozdíly ve věrohodnosti údaje přenášené sběrníci CAN. Maximální odchylky od naměřených hodnot se pohybovaly až okolo 40 %. Nutno však upozornit, že nejvyšší odchylky jsou dosahovány v provozním režimu nízkého zatížení, který není významný v celkovém využití motoru traktoru. Výrazného zpřesnění výsledků lze dosáhnout využitím odvozených regresních funkcí pro konkrétní traktory, resp. motory. Ze zkušeností s měřením jiných typů traktorů na Mendelu je známo, že obdobná situace s přesností dat na síti je i u traktorů jiných výrobců. Z výsledků experimentu vyplývá, že při využívání údajů o spotřebě paliva ze sítě CAN traktoru je pro získání relevantních výsledků nutné provést oceňování vstupních dat. Způsoby měření, které byly využity, však zahrnují pouze ustálené režimy motoru, výrazně problematičtější se jeví dynamic-

ká měření, která sice z pohledu zkoušení traktoru jsou irelevantní, nicméně může nastat i situace, kdy naopak hodnota sběrnice bude přesnější před přímou metodou měření průtoku Coriolisovými průtokoměry. Výzkum (Clark, a další, 2006) v oblasti dynamického průtoku snímačem ukázal na nedostatky nikoliv v konstrukci průtokoměru, ale zejména v části převodníku a softwarových možnostech filtrace signálu.

## 8 ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce byla popsána oblast měření charakteristik vozidlových motorů. Dále byla popsána problematika sběrníkových systémů CAN-Bus používaná ve vozidlech.

Cílem diplomové práce bylo změřit parametry a sestavit úplnou otáčkovou charakteristiku bez navýšení výkonu traktorového motoru John Deere 8320RT. Měření bylo realizováno ve vozidlových laboratořích Ústavu techniky a automobilové dopravy na Mendelově univerzitě v Brně. Traktor byl měřen vířivým dynamometrem přes zadní vývodový hřídel. V převodovce vývodového hřídele traktoru byl nastaven převod pro 1000 otáček za minutu. Nejprve byla naměřena jmenovitá otáčková charakteristika při plné dávce paliva, ze které bylo zjištěno, že maximální naměřený výkon je 217,7 kW při otáčkách 1805,6  $\text{n}^{-1}$ . Nejvyššího točivého momentu 1303 Nm dosáhl motor při otáčkách 1444  $\text{min}^{-1}$ . Minimální spotřeba paliva 224,8 g/kWh byla dosažena při otáčkách 1304  $\text{min}^{-1}$ . Jak už bylo v práci uvedeno, úplná otáčková charakteristika se nezjišťuje přímým měřením, jako charakteristika jmenovitá, ale sestrojuje se ze soustavy otáčkových charakteristik naměřených při různých dávkách paliva. Současně s měřením parametrů motoru pomocí externích snímačů ve zkušebně, byly odečítány hodnoty interních snímačů traktoru ze sítě CAN-Bus. Ze všech dat získaných ze sítě jsou z hlediska motoru nejdůležitější aktuální točivý moment a zatížení, udávaná v %. Bylo zjištěno, že zpracovaná data zatížení motoru a aktuálního momentu motoru jsou zatížena chybou a neodpovídají hodnotám skutečně naměřeným. Tudíž je nutné oceňování údajů ze sítě traktoru měřením v laboratoři přes PTO.

Úplné charakteristiky jsou nejdůležitějším znázorněním parametrů motoru. Jejich využití není pouze pro regulaci, resp. optimalizaci procesu spalování, ale jsou využívány také např. pro návrh převodů. V současnosti, kdy ceny pohonných hmot neustále rostou, patří k nejdůležitějším charakteristikám úplná charakteristika s měrnou spotřebou, protože se z ní dá stanovit nejhospodárnější oblast provozu vozidla, což může být vést ke snížení nákladů za pohonné hmoty.



## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. BEUSEN, Bart, a další. 2009. Using on-board logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course. *Transportation Research Part D*. 14, 2009, 7, stránky 514-520.
2. BAUER, František. *Traktory a jejich využití*. 2. vyd. Praha: Profi Press, 2013. ISBN 978-80-86726-52-6.
3. BAUER František, SEDLÁK Pavel a ŠMERDA Tomáš. *Traktory*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006, 192 s. ISBN 80-86726-15-0.
4. CLARK, Colin a CHEESEWRIGHT, Rober. 2006. Experimental determination of the dynamic response of Coriolis mass flow meters. *Flow Measurement and Instrumentation*. 17, 2006, Sv. 1, stránky 39-47.
5. ČSN 30 2008. *Motory automobilové. Zkoušky na brzdovém stanovišti*. Praha: Český normalizační institut, 1978.
6. ČSN-300415. 1986. ČSN 30 0415. *Zemědělské a lesnické traktory. Metody zkoušení*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986. str. 52.
7. ČUPERA, Jiří. Digitální sběrnice dat CAN-Bus.: Nepublikované materiály Mendelovy univerzity v Brně, 2012.
8. ČUPERA, Jiří. Dynamometry.: Nepublikované materiály Mendovy univerzity v Brně, 2012.
9. EPA. 2005. Average Carbon Dioxide Emissions Resulting from Gasoline and Diesel Fuel. *Emission Facts*. Washington : U. S. Environmental Protection Agency, 2005. Sv. EPA420-F-05-001.
10. ISO/DIS 1585. *Road vehicles — Engine test code — Net power*. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.
11. MACEK, Jan. *Spalovací motory I*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03618-1
12. MACMILLAN, Don. *Velká kniha traktorů John Deere: encyklopedie model po modelu, klasické modely, prospekty*. Vyd. 1. Praha: Vladimír Pícha, c2011. ISBN 978-80-904879-0-1.
13. ONDRÁČEK, Jaroslav. *Mobilní energetické prostředky I.: (návody do cvičení)*. 2., přeprac. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně, 1989.

14. SEDLÁK, Pavel, František Bauer a Jiří ČUPERA. VYUŽITÍ DIGITÁLNÍ SÍŤE KE STANOVENÍ PARAMETRŮ MOTORU. Tišnov: Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství ve spolupráci s Asociací strojních inženýrů, klub Brno, 2011, s.151. ISBN 978-80-214-4323-5
15. SAE J1939-1. 2011. On-Highway Equipment Control and Communication Network. *SAE J1939*. Warrendale, USA : SAE, 5 2011. str. 8.
16. ŠTĚRBA, Pavel a Jiří ČUPERA. *Autoelektronika: elektronické systémy ve vozidlech, jejich propojení, diagnostika, základní nastavení, seřízení a ovlivnění jejich funkce*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2010. Rady a tipy pro řidiče (Computer Press). ISBN 978-80-251-2414-7.
17. VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.
18. WATSON, G., Dennis, Harrison, V., Tony a Steffen, W., Richard. 2008. Data points and Duration for Estimating Fuel Consumption of a Diesel Engine. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2008, 10, stránky 1-9.

### Internetové zdroje

19. ČUPERA, Jiří. Ústav techniky a automobilové dopravy [online]. 2011 [cit.2011-04-04]. Stránky pro studenty. Dostupné z WWW: <<http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/prostud.htm>>.
20. AVL ROADSIM NVH 4x2 LIGHT TRUCK [online]. [cit. 2016-02-27]. Dostupné na: <<https://www.avl.com/web/guest/-/dynamometers-for-powertrain-drivetrain-testing>>.
21. Bezválcový dynamometr AVL [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné na: <<https://www.avl.com/load-unit-for-engine-testing>>.

## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Trojrozměrné zobrazení úplné charakteristika.....	12
Obr. 2 Test Mercedes-Benz F1 A45 AMG na válcové zkušebně.....	14
Obr. 3 Kvadranty pracovních oblastí dynamometru .....	16
Obr. 4 Momentová a výkonová charakteristika hydraulického dynamometru .....	17
Obr. 5 Momentová a výkonová charakteristika elektrického dynamometru .....	17
Obr. 6 Princip měření na dynamometru .....	18
Obr. 7 Rozdělení dynamometrů .....	19
Obr. 8 Hydraulický dynamometr pro osobní automobily .....	19
Obr. 9 Vířivý dynamometr s vodním chlazením (AVL Alpha).....	22
Obr. 10 Vířivý dynamometr vzduchem chlazený (300 kW) .....	22
Obr. 11 Válcový dynamometr .....	23
Obr. 12 Pohled na válcovou zkušebnu AVL ROADSIM NVH 4x2.....	24
Obr. 13 Vozidlový dynamometr s párovými válci .....	25
Obr. 14 Monoválcový dynamometr.....	26
Obr. 15 Vozidlový dynamometr bezválcové konstrukce rakouské firmy AVL.....	26
Obr. 17 Průběh napětí ve vodičích CAN_L a CAN_H.....	28
Obr. 16 Používané vodiče pro datová vedení CAN-Bus .....	28
Obr. 18 1 - řídicí jednotka motoru, 2 - řídicí jednotka ABS, 3 - CAN-Bus vodiče .....	29
Obr. 19 Obsah rámce zprávy CAN-Bus .....	30
Obr. 20 Obsah rámce dle specifikace Bosch CAN 2.0.....	31
Obr. 21 Obsah rámce dle specifikace Bosch 2.0B .....	32
Obr. 22 Komunikační rychlosti na sběrnici CAN (v kb/s podle standardizace).....	32
Obr. 23 Příklad zásuvek palubní diagnostiky traktoru a jejich lokalizace .....	33
Obr. 24 Příklad komunikačních karet společnosti National Instruments .....	34
Obr. 25 Pásový traktor John Deere 8320RT .....	36
Obr. 26 Vířivý dynamometr připojený k vývodové hřídeli pásového traktoru.....	38
Obr. 27 M, P charakteristika dynamometru VÚES V500 .....	38
Obr. 28 Coriolisovy hmotnostní průtokoměry v diferenciálním zapojení.....	39
Obr. 29 Jmenovitá charakteristika motoru pásového traktoru JD 8320RT .....	44
Obr. 30 Jmenovitá charakteristika s průběhem zatížení(Load) .....	45
Obr. 31 Cyklová dávka paliva motoru pásového traktoru JD 830RT .....	46

Obr. 32 Úplná charakteristika měrné spotřeby paliva .....	48
Obr. 33 Úplná charakteristika aktuálního točivého momentu motoru .....	49
Obr. 34 Úplná charakteristika zatížení (Load) motoru .....	50
Obr. 35 Poměr spotřeby paliva .....	51
Obr. 36 Odchyly spotřeby .....	52
Obr. 37 Závislost spotřeby .....	52
Obr. 38 Reziduální odchyly hmotnostní spotřeby paliva od regresní přímky .....	53

## 11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Metody měření výkonových parametrů.....	13
Tab. 2 Pracovní kvadranty pro jednotlivé typy dynamometrů.....	16
Tab. 3 Parametry pásového traktoru John Deere 8320RT.....	37
Tab. 4 Parametry vířivého dynamometru VÚES V500.....	38
Tab. 5 Technická specifikace pořízených průtokoměrů.....	39
Tab. 6 Výsledky měření jmenovité charakteristiky motoru traktoru JD 8320RT .....	43
Tab. 7 Analýza variance .....	53
Tab. 8 Výpočet koeficientu regresní funkce a jeho významnosti .....	53