

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**BRNO 2016**

**Bc. TOMÁŠ SMÉKAL**



Agronomická  
fakulta

Mendelova  
univerzita  
v Brně



**Úplná charakteristika traktorového motoru  
a její využití při provozu vozidla**

Diplomová práce

*Vedoucí práce:*  
Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

*Vypracoval:*  
Bc. Tomáš Smékal



### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Úplná charakteristika traktorového motoru a její využití při provozu vozidla 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 *Směrnici 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**

Děkuji Ing. Vojtěchovi Kumbárovi, Ph.D., doc. Ing. Pavlovi Sedlákovvi, CSc. a doc. Ing. Jiřímu Čuperovi, Ph.D. za vstřícný a ochotný přístup, připomínky a odborné rady, které mi usnadnily vypracování této diplomové práce. Dále děkuji všem, kteří mi jakkoli pomohli k dokončení této diplomové práce.

## **ABSTRAKT**

Název práce:

Úplná charakteristika traktorového motoru a její využití při provozu vozidla

Diplomová práce se zabývá tématem charakteristik motorů. V úvodu jsou popsány spalovací motory, různé charakteristiky a technologie měření výkonů přes vývodový hřídel. V praktické části jsou popsány parametry traktoru John Deere 8320R a parametry měřicí zkušebny na Mendelově univerzitě v Brně. Z naměřených dat je sestavená jmenovitá otáčková charakteristika a úplná otáčková charakteristika. V závěru jsou srovnány výsledky s daty od výrobce a patřičně popsány grafy charakteristik.

Klíčová slova:

CAN-Bus, Data, Dynamometr, Měření, Vývodový hřídel

## **ABSTRACT**

Title:

Complete characteristic of the tractor engine and its use in vehicle operation

The master's thesis deals with the characteristics of the engines. The introduction describes the combustion engines, different characteristics and performance measurement technologies through the PTO. The practical part describes the parameters of the tractor John Deere 8320R and parameters measuring test at Mendel University in Brno. From the data is compiled by the nominal rotation speed characteristics and the full rotation speed characteristics. In conclusion, the results are compared with data from the manufacturer and graphs are appropriately described characteristics.

Key words:

CAN-Bus, Data, Dynamometer, Measurement, Power take – off

## Obsah

1	ÚVOD.....	10
2	LITERÁRNÍ PŘEHLED .....	11
2.1	Motory .....	11
2.2	Charakteristiky motorů .....	11
2.2.1	Otáčková charakteristika .....	12
2.2.1.1	Jmenovitá otáčková charakteristika .....	13
2.2.1.2	Vnější otáčková charakteristika .....	14
2.2.1.3	Částečná otáčková charakteristika .....	14
2.2.1.4	Otáčková charakteristika s regulátorem .....	15
2.2.1.5	Otáčková charakteristika bez regulátoru .....	15
2.2.1.6	Otáčková charakteristika na hranici kouření .....	16
2.2.1.7	Vrtulová otáčková charakteristika.....	16
2.2.1.8	Otáčková charakteristika chodu naprázdno.....	16
2.2.2	Zatěžovací charakteristika.....	16
2.2.3	Regulační charakteristika .....	17
2.2.4	Úplná charakteristika .....	17
2.2.5	Zvláštní charakteristika .....	18
2.2.5.1	Výšková charakteristika .....	18
2.2.5.2	Hluková charakteristika .....	18
2.3	Měření výkonu.....	19
2.3.1	Mechanická brzda .....	20
2.3.2	Hydraulická brzda .....	20
2.3.3	Elektrická brzda .....	21
2.3.4	Elektromagnetická vířivá brzda .....	21
3	CÍL PRÁCE .....	23
4	MATERIÁL A METODIKA .....	24
4.1	Válcová zkušebna: .....	24
4.2	Měřený traktor .....	26
4.3	Metodika měření.....	28
4.3.1	Měření točivého momentu .....	28
4.3.2	Měření spotřeby paliva.....	29
4.3.3	Měření otáček.....	29
4.3.4	Měření ostatních hodnot.....	30
4.3.5	Měření charakteristik .....	30
4.3.6	Kreslení charakteristiky .....	31
5	VÝSLEDKY MĚŘENÍ .....	32
5.1	Podmínky v laboratoři .....	32
5.2	Jmenovitá otáčková charakteristika.....	32



5.3	Úplná otáčková charakteristika.....	36
5.3.1	Úplná otáčková charakteristika s vynesenu měrnou spotřebou paliva.....	38
5.3.2	Úplná otáčková charakteristika s vynesenu zatížením motoru .....	38
5.3.3	Úplná otáčková charakteristika s vynesenu hodinovou spotřebou paliva .....	41
5.3.4	Úplná otáčková charakteristika s vynesenu aktuálním točivým momentem ...	41
5.3.5	Úplná otáčková charakteristika s plnicím tlakem turbodmyhadla.....	41
6	ZÁVĚR A DISKUZE.....	45
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	47
	Seznam obrázků .....	50
	Seznam tabulek .....	51

## 1 ÚVOD

Zemědělské traktory, zahradní sekačky a samohybné rotavátory obvykle pohání čtyřdobý zážehový nebo vznětový motor. Dvoudobé benzínové motory využívají řetězové pily, malá zahradní zařízení a lehké rotační sekačky. Dvoudobé a čtyřdobé motory se nazývají spalovacími motory, protože ve válci motoru dochází k hoření zápalné směsi vzduchu a paliva (Bell a Stewart, 1997).

Spalovací motory se stále zdokonalují a přizpůsobují se novým požadavkům norem a nárokům uživatelů. Velká část nových částí traktorových motorů je adaptovaná z vývoje automobilových motorů. Největší modernizace se v dnešní době objevuje v oblasti přípravy palivové směsi a eliminace škodlivin ve výfukových plynech. Pomocí stále chytřejší a rychlejší elektronice se ovládají různé části spalovacích motorů. Pro traktory je snaha vytvářet výkonné a přitom ekonomicky přijatelné motory, které se mohou použít v celé modelové řadě.

Používají se vznětové čtyřdobé a dnes už převážně přeplňované spalovací motory, které mají charakteristické převýšení točivého momentu. Díky převýšení točivého momentu se dosahuje stálého výkonu v širším spektru otáček, než tomu bylo dříve. Po správném traktorovém motoru se požaduje využitelnost konstantního výkonu při velkém kolísání zatížení, nízká spotřeba paliva, splňovat emisní normy a hlavně vysoká spolehlivost. Nejmodernější koncept vstříkovacích systémů je metodou vysokotlakého zásobníku s elektronicky ovládanými vstříkovači, kde se dosahuje tlaků až 250 MPa (Srový, 2008).

Pro zdokonalování traktorových spalovacích motorů se využívá motorových či vozidlových zkušeben, kde se zkoumají parametry motoru. Z různých zkoušek, které probíhaly v rámci určitých norem, se vytváří protokoly a vykreslují různé charakteristiky. Tyto charakteristiky slouží k rychlé orientaci o parametrech motoru, ke kalibracím systémů vozidla, nebo k marketingovým účelům.

## 2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 2.1 Motory

Vznětové motory pracují s chudší směsí než zážehové. S čím menším zatížením vznětový motor pracuje, tím součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$  narůstá. Neboli jak uvádí ve své monografii pan Takáts, vznětové motory při běhu na prázdno pracují se součinitelem přebytku vzduchu cca  $\lambda = 10$ .

Energetické vlastnosti motoru lze v širokých mezích ovládat návrhem tvaru spalovacího prostoru, charakterem a intenzitou pohybu nasávaného vzduchu a počtem, velikostí a nasměrováním výstřikových otvorů vstřikovací trysky, velikostí vstřikovacího tlaku a jeho průběhu po dobu vstřikovacího procesu. Některé z těchto vlastností se ovšem můžou měnit samovolně v závislosti na okamžitém režimu běhu motoru (Takáts, 1997).

### 2.2 Charakteristiky motorů

Charakteristika spalovacího motoru je znázornění vzájemné závislosti provozních veličin, změřených nebo vypočtených u daného motoru. Uvedená závislost se kreslí v pravouhlých souřadnicích, jen v některých zvláštních případech se uvádí grafická závislost v prostorových souřadnicích (Růžička, 1979).

Mezi základní parametry patří např. výkon  $P$ , točivý moment  $M_t$ , hodinová spotřeba paliva  $M_h$ , měrná spotřeba paliva  $m_p$ , otáčky motoru  $n$ , popř. další veličiny závislé na některém parametru jako nezávisle proměnném. Pro přesné posuzování vlastností spalovacích motorů je důležitá znalost jejich charakteristik. Pro praktické využití při provozu motoru u traktoru je nejdůležitější jmenovitá otáčková charakteristika a úplná charakteristika (Bauer, 2013).

Charakteristiky se používají pro posuzování vlastností motorů, které pracují se stálými či kolísavými otáčkami. Seřizovací charakteristiky se využívají hlavně při vývoji prototypových motorů (ČSN 09 0851, 1977).

Charakteristiky dělíme na:

- 1) otáčkové – znázorňují závislost různých parametrů motoru, nejčastěji výkonu, na jeho otáčkách,
- 2) zatěžovací – znázorňují závislost měrné spotřeby, popř. dalších parametrů na některé veličině charakterizující zatížení motoru, jako je výkon, točivý moment, střední efektivní tlak apod.,
- 3) regulační (seřizovací) – popisují závislost parametrů motoru na některé veličině charakterizující jeho seřízení,
- 4) úplné – diagram soustavy křivek sledované veličiny v závislosti na dvou základních veličinách,
- 5) zvláštní – znázornění vlastností motoru z jiných hledisek.

### **2.2.1 Otáčková charakteristika**

Otáčkové charakteristiky jsou nejpoužívanější z charakteristik. Otáčkové charakteristiky znázorňují závislost užitečného výkonu a dalších důležitých provozních veličin motoru na jeho otáčkách při stálém nastavení dodávky paliva. Můžeme se setkat na vodorovné ose pouze s poměrnými hodnotami otáček jmenovitých, tj. poměr otáček skutečných ke jmenovitým.

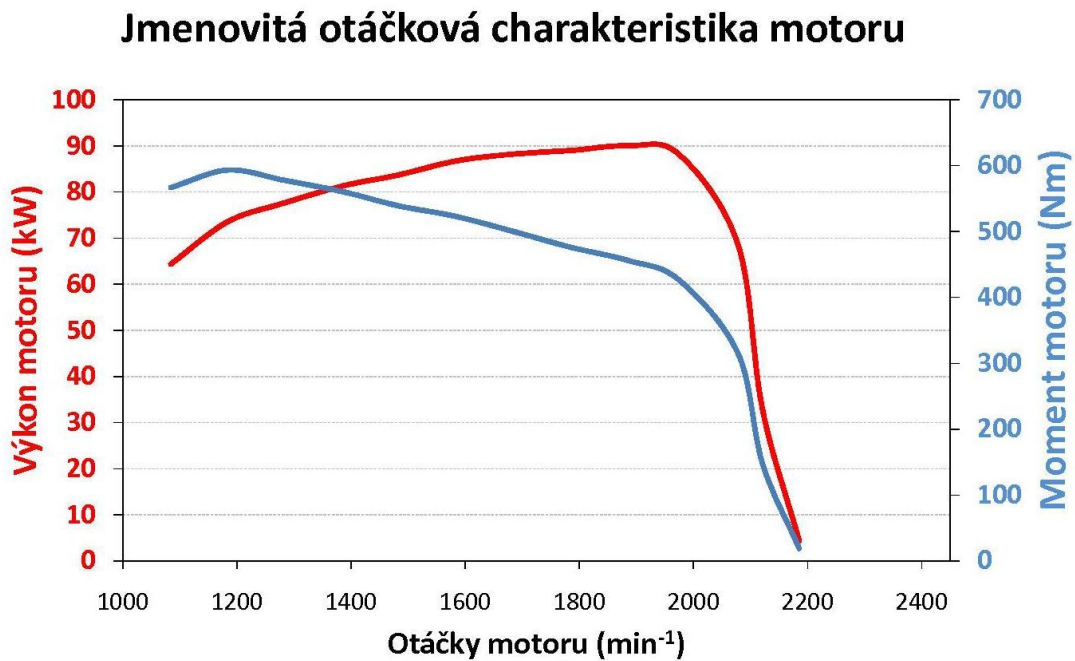
Při přímém zjišťování otáčkové charakteristiky (s výjimkou lodní charakteristiky a charakteristiky běhu naprázdno) se změna otáček dosahuje změnou zatížení motoru. Přitom nedojde k jakémukoliv vnějšímu zásahu do nastavení dodávky paliv a do seřízení regulátoru (Ondráček, 1989).

Otáčkové charakteristiky vznětových motorů můžeme rozdělit na:

- jmenovité,
- vnější,
- částečné,
- s regulátorem,
- bez regulátoru,
- na hranici kouření,
- vrtulové,
- chodu naprázdno.

### 2.2.1.1 Jmenovitá otáčková charakteristika

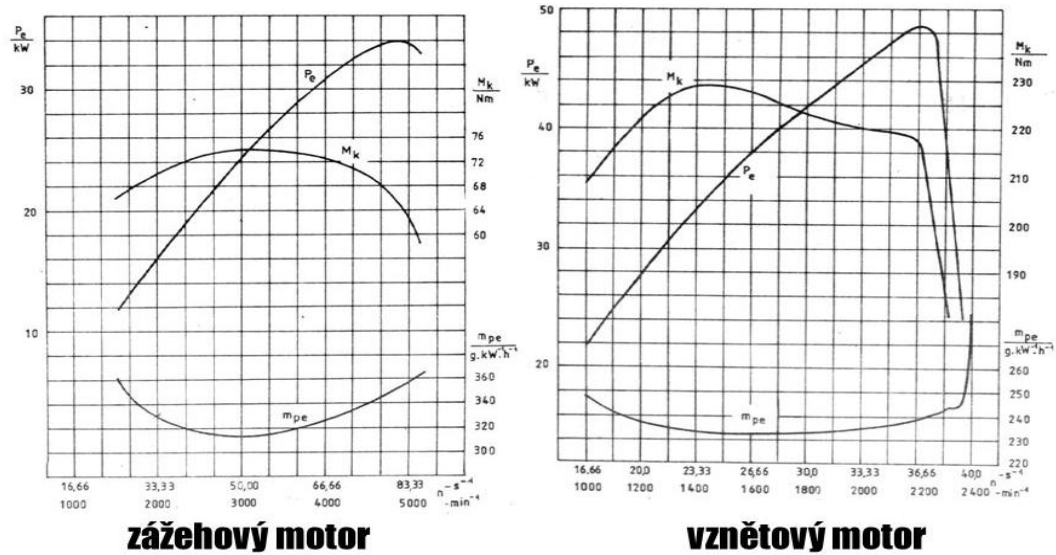
Podle normy ČSN 09 0851 je definována jmenovitá otáčková charakteristika vznětového motoru jako charakteristika, která přísluší takovému nastavení dodávky paliva, při němž se při jmenovitých otáčkách dosahuje trvale přetížitelného výkonu jakožto výkonu jmenovitého. Tento graf zobrazuje závislost výkonu, točivého momentu, měrné spotřeby, popř. dalších důležitých provozních veličin motoru na jeho otáčkách, při stálém nastavení jmenovité dodávky paliva (Bauer, 2013).



Obr. 1: Příklad jmenovité charakteristiky (Mobilní dynamometr, 2016)

### 2.2.1.2 Vnější otáčková charakteristika

Vnější neboli maximální otáčková charakteristika, při které je maximální nastavení dodávky paliva přípustné pro trvalý provoz při různých otáčkách (ČSN 09 0851, 1977).



Obr. 2: Vnější otáčková charakteristika spalovacího motoru (Svída, 2016)

### 2.2.1.3 Částečná otáčková charakteristika

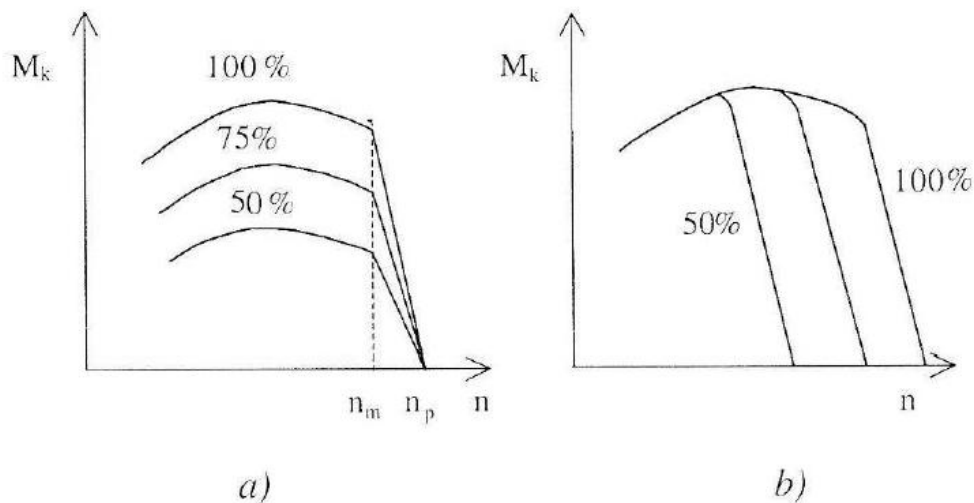
Jinak také otáčková charakteristika při částečném zatížení. Je to každá otáčková charakteristika, v které se provedlo menší nastavení dodávky paliva, než odpovídá jmenovitému výkonu (Ondráček, 1989). Průběh této charakteristiky je velmi podobný vnější otáčkové charakteristice, jen její velikost se odlišuje v dávce paliva. Částečná otáčková charakteristika se snímá např. při 10 %, 25 %, 50 %, 75 % otevření regulačního orgánu (Trnka, 1989).

#### 2.2.1.4 Otáčková charakteristika s regulátorem

Otáčková charakteristika s regulátorem zobrazuje průběh sledovaných veličin:

- v oblasti nižších otáček, než na které je nastaven počátek působnosti regulátoru - přetěžovací větev charakteristiky
- v oblasti vyšších otáček, než na které je nastaven počátek působnosti regulátoru - regulovaná větev charakteristiky. V této větvi je dodávka paliva řízena regulátorem (Ondráček, 1989).

Ve vznětových motorech určených pro automobilovou dopravu regulátor upravuje dávku paliva v celém spektru otáček. Charakteristika takového motoru je znázorněna na obrázku 3a). Pro pracovní stroje se využívá výkonostní regulátor.



Obr. 3: Otáčková charakteristika s regulátorem (Vávra, 2016):

a) Omezovací regulátor, b) Výkonostní regulátor

#### 2.2.1.5 Otáčková charakteristika bez regulátoru

V otáčkové charakteristice bez regulátoru, měřené v celém rozsahu otáček motoru, je dodávka paliva konstantní a není nijak regulována po celé měření (ČSN 09 0851, 1977).

### **2.2.1.6 Otáčková charakteristika na hranici kouření**

Charakteristika na hranici kouření je taková, že nastavená dodávka paliva pro každé otáčky odpovídá stanovené hranici kouření. Tato charakteristika se zjišťuje nepřímo ze zatěžovacích charakteristik. V každé zatěžovací charakteristice pro stanovené otáčky se zvyšuje zatížení až do hodnoty kouření, která je uznaná za mezní, neboli do začátku tvoření sazí. Spojením těchto hodnot ze zatěžovacích charakteristik vznikne otáčková charakteristika na hranici kouření (Ondráček, 1989).

### **2.2.1.7 Vrtulová otáčková charakteristika**

Vrtulová (lodní) charakteristika má jako nezávislou proměnnou otáčky motoru (případně střední rychlost pístu). Dodávka paliva se reguluje tak, aby točivý moment odpovídal momentu odebíranému vrtulí (Trnka, 1989). Charakteristika zobrazuje práci motoru s lodní vrtulí či s lodním šroubem, nebo na brzdovém stanovišti, které vrtuli nahrazuje (Ondráček, 1989).

### **2.2.1.8 Otáčková charakteristika chodu naprázdno**

Charakteristika běhu naprázdno je charakteristika znázorňující celkovou spotřebu paliva na otáčkách motoru pracujícího s nulovým užitečným výkonem, neboli bez zatížení a to v celém rozsahu jeho provozních otáček (Ondráček, 1989).

## **2.2.2 Zatěžovací charakteristika**

Zatěžovací charakteristikou se znázorňuje závislost spotřeby paliva, zpravidla měrné v  $\text{g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , popř. další důležité provozní veličiny na některé veličině charakterizující zatížení motoru. Taková veličina může být užitečný výkon, střední užitečný tlak, nebo točivý moment při určitém nastavení otáček motoru (ČSN 09 0851, 1977).

Zatěžovací charakteristika se zjišťuje při určitých stálých otáčkách nastavovaných pro každý zjišťovaný bod charakteristiky. Zatěžovací charakteristika s regulátorem se liší tím, že se při jejím zjišťování neudržují stálé otáčky, nýbrž jsou řízeny regulátorem. Průběh otáček se u regulátorového měření zaznamenává. Soustava zatěžovacích



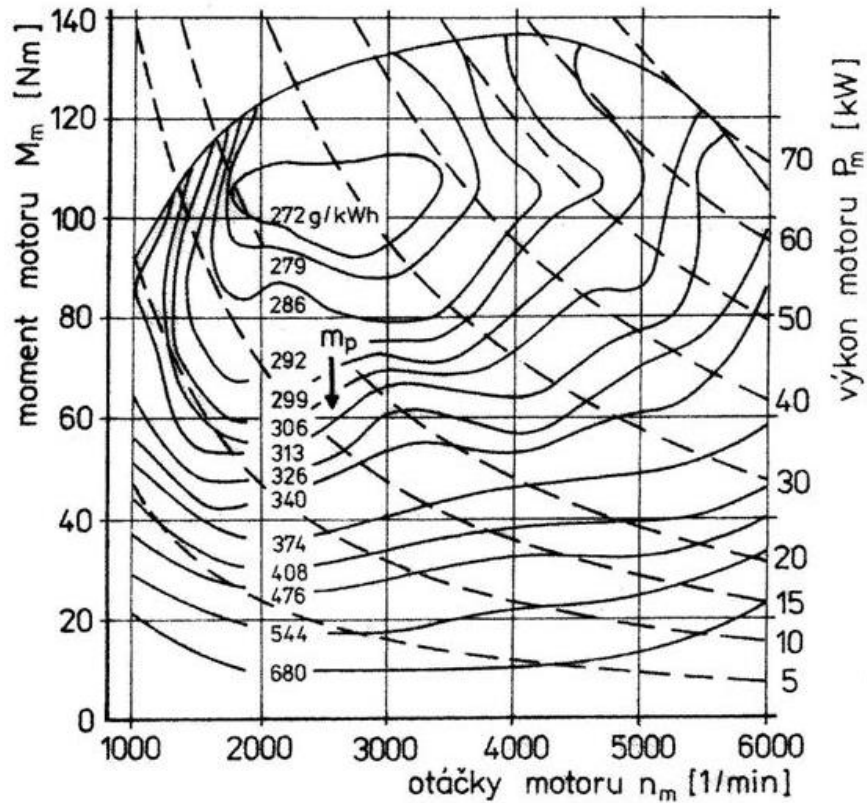
charakteristik obsahuje několik zatěžovacích charakteristik zjištěných při různých otáčkách. Pomocí této soustavy se vyhodnocuje úplná charakteristika (Ondráček, 1989).

### **2.2.3 Regulační charakteristika**

Seřizovací neboli regulační charakteristika je znázornění závislosti užitečného výkonu a měrné spotřeby paliva, nebo dalších provozních veličin na některé provozní nebo konstrukční veličině charakterizující seřízení motoru, jako je otvírací tlak vstřikovače, úhel předstihu vstřikování apod. (Ondráček, 1989).

### **2.2.4 Úplná charakteristika**

Nejlepším znázorněním pro posouzení ekonomiky práce spalovacího motoru je úplnou, neboli univerzální či celkovou otáčkovou charakteristikou. Jedná se o diagram znázorňující soustavou křivek závislost sledované veličiny na dvou veličinách základních, které jsou vyneseny na osy souřadnic. Každé izočáře diagramu přísluší určitá stálá hodnota sledované veličiny jako parametr. Jako izočáry mohou být v úplné otáčkové charakteristice oblasti stálých měrných spotřeb, stejných výkonů, procenta zatížení, popř. další stálé hodnoty sledovaných parametrů motoru. Úplná charakteristika není zjišťována přímým měřením, ale je skládána ze soustavy otáčkových charakteristik (Bauer, 2013). Shora je omezena obvykle vnější otáčkovou charakteristikou, která jen určuje hranici spolu s nejnižšími stabilními a nejvyššími přípustnými otáčkami. Vnější otáčková charakteristika nemusí být nutně dána s nejvyšší dodávkou paliva, která je fyzicky dosažitelná. Její průběh může být vnitřní regulací motoru korigován tak, aby nebyly překročeny meze emisí škodlivin, namáhání mechanismu motoru atp. (Macek, 2007).



Obr. 4: Příklad úplné otáčkové charakteristiky (Svída, 2016)

## 2.2.5 Zvláštní charakteristika

### 2.2.5.1 Výšková charakteristika

Výšková charakteristika je závislost výkonu motoru, měrné spotřeby paliva a dalších veličin na nadmořské výšce u letadlových pístových motorů. S rostoucí nadmořskou výškou klesá měrná i celková hmotnost vzduchu ve válci. Klesá i poměr tlaku a teploty. Výkon motoru se proto snižuje (Trnka, 1989).

### 2.2.5.2 Hluková charakteristika

Hluková charakteristika zkoumá jak je výrazné akustické znečištění při běhu motoru.

### 2.3 Měření výkonu

Ve zkušebnictví vozidel se zjišťuje mechanický výkon, který nelze přímo měřit. Výkon při rotačním pohybu je dán vztahem

$$P = M_t \cdot \omega \quad [W]$$

kde  $M_t$  je měřený točivý moment a  $\omega$  je úhlová rychlost, která se dá vyjádřit vztahem

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad [s^{-1}]$$

kde  $n$  je počet otáček. Výkon při rotačním pohybu lze tedy zjistit měřením točivého momentu a otáček.

Pro měření točivého momentu v praxi se nejčastěji používají deformační členy, které jsou založeny na změně elektrických, magnetických či mechanických veličin. Měřicí člen namáhá momentem síly hřídel s kruhovým průřezem krutem, který se převádí na deformaci a měří se tenzometrickými snímači nebo snímačem výchylky. K určení výkonu je nutno zároveň měřit otáčky.

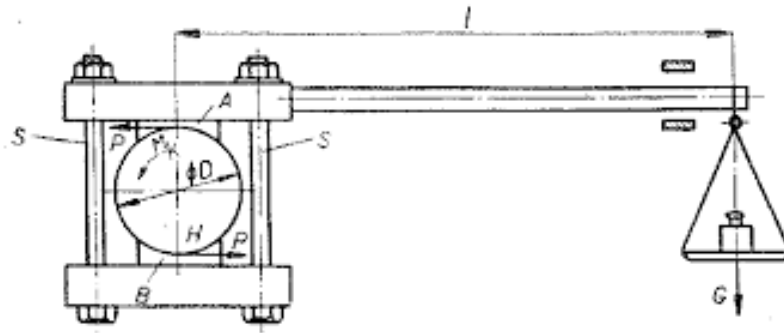
Pro měření výkonu se ve zkušebnictví vozidel používají výkonové brzdy. Označení „brzda“ je odvozeno z toho, že pomocí třetího Newtonova zákona akce a reakce je proti zjišťovanému točivému momentu působící brzdňý moment, jehož velikost dokážeme změřit (Vlk, 1992).

Brzdy můžeme rozdělit na:

- mechanické brzdy,
- hydraulické brzdy,
- elektrické brzdy,
- elektromagnetické vířivé brzdy.

### 2.3.1 Mechanická brzda

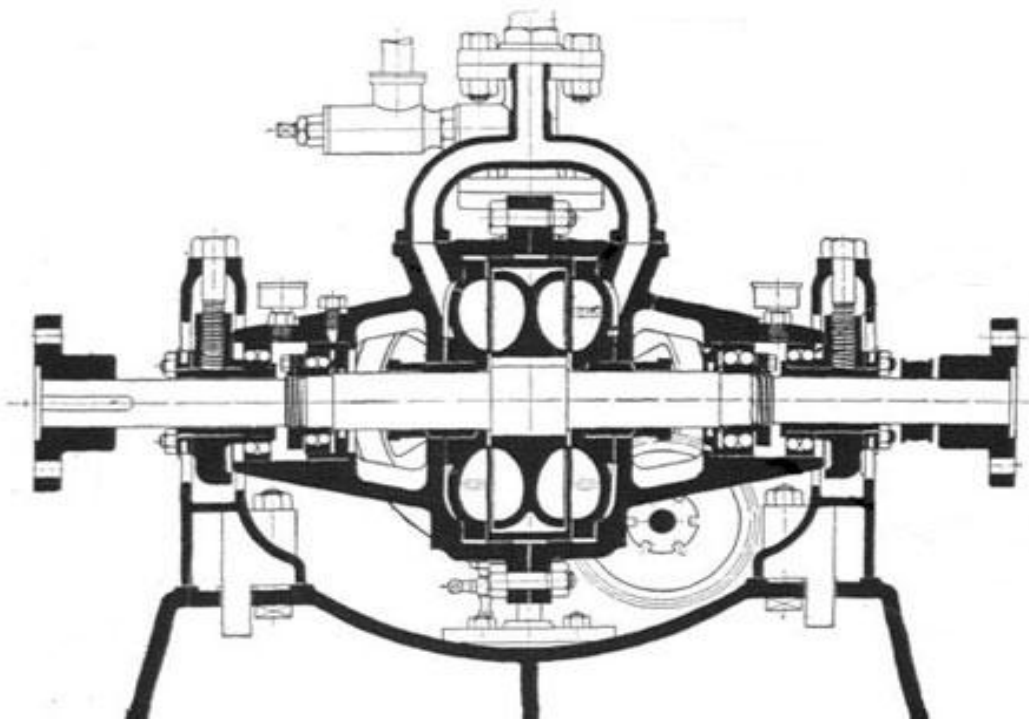
Tato brzda je konstrukčně jednoduchá, ale nepřesná. Funguje na principu tření, přičemž měřený točivý moment je vyvážen třecím momentem mezi kotoučem a brzdovými čelistmi, tzv. Pronyho brzda nebo špalková (Obr. 5). Další způsob brzdění je mezi pásem a obvodem kotouče, tzv. pásová. Z důvodu tření dochází k zahřátí a následně ke změně vlastností třecích ploch. Dnes se tyto brzdy používají jen výjimečně (Vysoké učení technické v Brně, 2016).



Obr. 5: Pronyho mechanická brzda (Smolek, 2016)

### 2.3.2 Hydraulická brzda

Tekutinové brzdy se vyznačují tím, že energie dodávaná hnacím motorem se přeměňuje v teplo díky vnitřnímu tření částic kapaliny (Vlk, 1992). Hydraulická brzda se skládá z hřídele, na které je rotor vodotěsně uzavřen ve statoru. Schéma hydraulické brzdy od Froudeho je znázorněno na obrázku 6. V každé čelní straně rotoru jsou poskládány lopatky opačným směrem než lopatky statoru. Brzdění je ovládáno stavidlem, které pohybem dovnitř nebo ven vpouští vodu pod stálým tlakem na různý počet lopatek. Točivý moment se měří pootočením statoru (Coxon, 2010).



Obr. 6: Froudeho hydraulická brzda (Coxon, 2010)

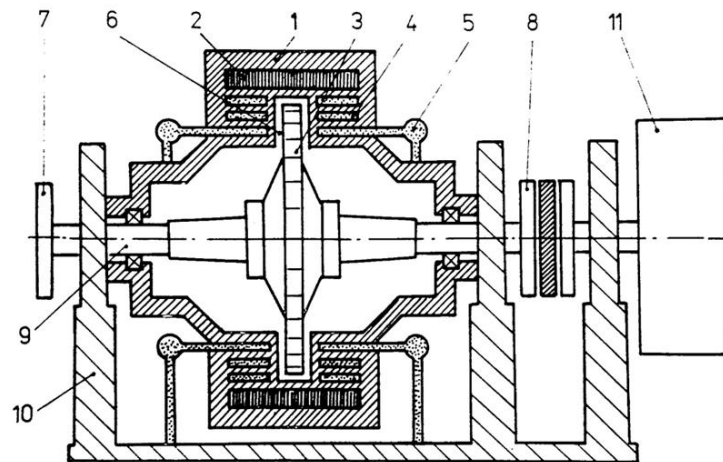
### 2.3.3 Elektrická brzda

Elektrické brzdy se dnes používají nejčastěji. Na vozidlových zkušebnách se používají stejnosměrné nebo střídavé dynamometry, protože mají výhodu, že mohou fungovat i jako elektromotor pro měření brzdných účinků vozidla. Další výhodou je, že mohou pracovat v režimu generátoru při dlouhodobých zatěžovacích zkouškách motoru. Jednoduše se regulují a kromě ložisek nemají žádné další části podléhající opotřebení (Vysoké učení technické v Brně, 2016).

### 2.3.4 Elektromagnetická vířivá brzda

Elektromagnetické vířivé brzdy pracují na principu vzniku vířivých proudů při toku stejnosměrného proudu budícím vinutím. Na rotoru je ozubený pólkový kotouč a ve statoru jsou chladicí komory a budící vinutí. Pokud tímto vinutím protéká stejnosměrný proud, tak vzniká magnetické pole, které obíhá souběžně s pólovým kotoučem, přičemž siločáry procházejí axiálně v zubech kotouče. Rovněž působí i na stěny chladicích komor, kde vznikají vířivé proudy, které vytváří pole s brzdícím účinkem (Ústav techniky a automobilové dopravy MENDELU, 2016).

Tyto brzdy mají větší využitelný rozsah otáček než hydraulické brzdy. Schéma elektromagnetické vířivé brzdy je znázorněno na obr. 7. U moderních brzd se točivý moment a otáčky nastavují elektricky. Proto jsou tyto brzdy velmi vhodné pro automatizované zkoušení motorů (Vlk, 1992).



Obr. 7: Elektromagnetická vířivá brzda (Vlk, 1992)

1 – Výkyvné těleso brzd; 2 – budící vinutí; 3 – pólový kotouč; 4 – chladicí komory;  
 5 – vodící chlazení; 6 – vzduchová mezera; 7 – levá příruba; 8 – pravá příruba;  
 9 – hřídel brzd; 10 – rám; 11 – připojené měřené zařízení (např. vývodový hřídel)

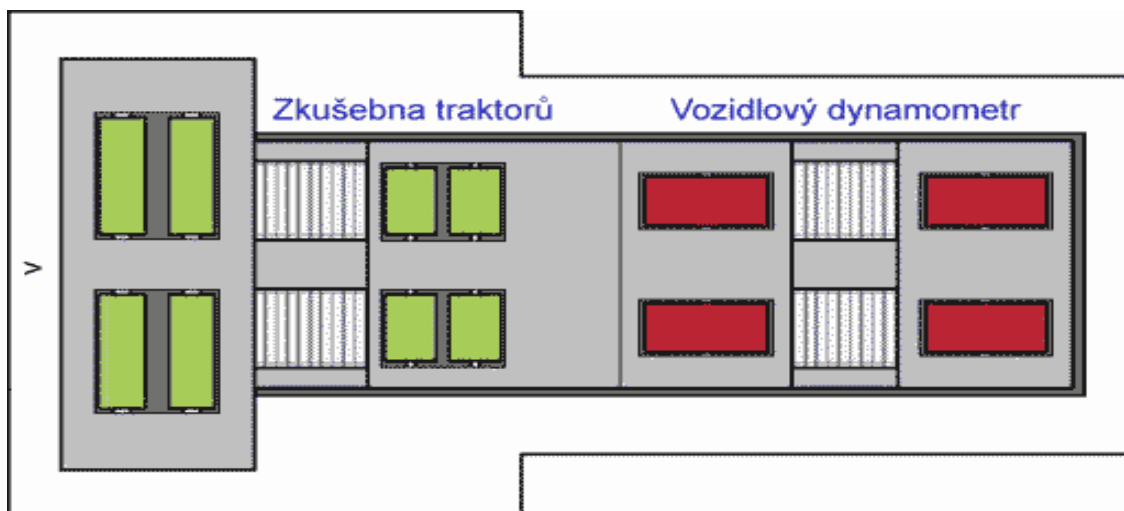
### **3 CÍL PRÁCE**

Hlavním cílem diplomové práce je sestavení úplné charakteristiky traktorového motoru, který je měřen přes vývodový hřídel. Ze získaných dat vypočítat parametry motoru a graficky je znázornit, či vyjádřit závislosti parametrů mezi sebou. Dále určit možnosti využití úplné charakteristiky motoru.

## 4 MATERIÁL A METODIKA

### 4.1 Válcová zkušebna:

Měření proběhlo na měřicím stanovišti, které je postaveno v areálu Mendelovy univerzity v Brně. Stanoviště měření MEZ VDU E270T-E150T je určeno pro měření výkonových parametrů traktorů a umožňuje jejich zatěžování přes vývodový hřídel, válcový dynamometr nebo dohromady přes oba zatěžovací prvky (téměř 1 MW), což je jeden z mála unikátních systémů v ČR, ale i v Evropě. Pomocí vývodového hřídele je možné brzdit až 500 kW v celém rozsahu otáčkové charakteristiky vznětového motoru pomocí vířivého dynamometru. Na válcovém dynamometru vybaveného duoválci lze měřit maximálně do rychlosti  $16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  a tahové výkony 420 kW, přičemž každé kolo je v režimu motorgenerátorovém ovládáno nezávisle (Ústav techniky a automobilové dopravy MENDELU, 2016).



Obr. 8: Schéma zkušebny (Ústav techniky a automobilové dopravy MENDELU, 2016)

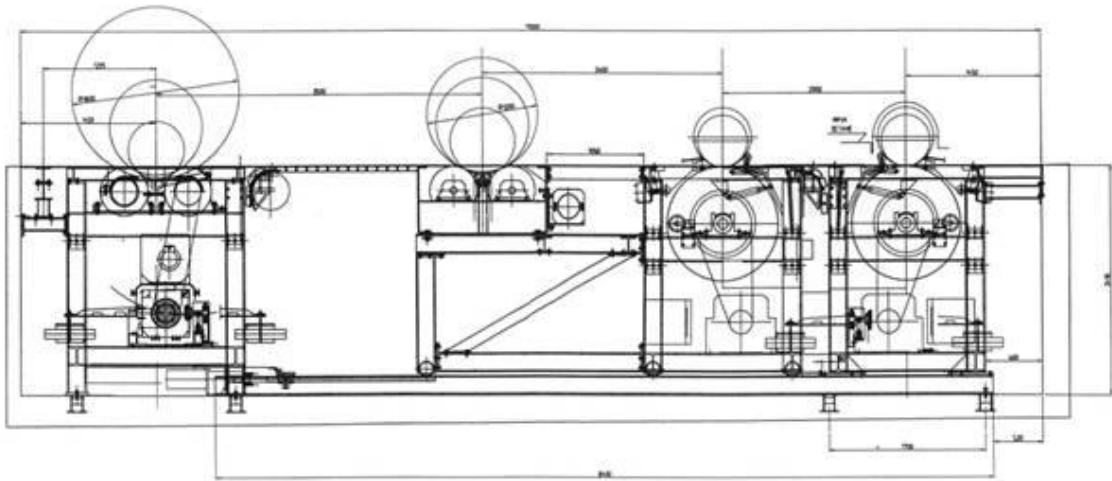


Blok přední osy vozidlového dynamometru je umístěn pevně. Blok zadní osy se posouvá v rozmezí požadovaného rozvoru, společně s přední osou traktorového dynamometru VDU E150 - T. Blok zadní osy traktorového dynamometru je umístěn pevně. Obě zkušebny jsou umístěny na konstrukci z ocelových profilů upevněné na základním rámu, který je zalit betonem na dně montážní jámy.

V podlaze okolo montážní jámy jsou také v betonu zality kotvící drážky pro upevnění úvazků vozidla. Celá plocha nad dynamometry je v rovině podlahy překryta ocelovými krycími plechy. Před zkoušeným vozidlem je umístěn ventilátor náporového chlazení s usměrňovací hubicí, který je ovládán klávesnicí z kabiny vozidla.

Pro umožnění najetí je každý válec vybaven pneumaticky ovládanými brzdami, které jsou i pro případ bezpečnostního zabrzdění. Dále je každá válcová jednotka vybavena pneumaticky ovládaným nájezdovým a středícím zařízením a měřícími rolnami s odsouvatelným krytem.

Velmi důležitou součástí zkušebny je také vzduchotechnika a spalinové hospodářství. Podtlak v místnosti lze regulovat od 5 do 300 Pa, přičemž vyměněné množství vzduchu činí až  $25\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . U výfukových plynů lze regulovat množství ručně či v závislosti na odebíraném výkonu motoru a to až do  $24\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  (Ústav techniky a automobilové dopravy MENDELU, 2016).



Obr. 9: Schéma kompletní zkušebny pro traktory VDU E270T – E150T a pro osobní automobily 4VDM E120D (Ústav techniky a automobilové dopravy MENDELU, 2016)

## 4.2 Měřený traktor

U John Deere v roce 2000 došlo ke změně loga, kdy se jelen ve skoku změnil na jelena ve výskoku. Tato změna měla symbolizovat další rozvoj společnosti a o dva roky později vznikla nová série traktorů řady 8. Tu tvoří traktory s výkonem motoru od 200 do 290 koní. Nově zkonstruována byla přední náprava s odpružením ILS, která vyšla z principu samostatného zavěšení kol pomocí nezávislých ramen. John Deere v historii testoval i systém odpružení zadní nápravy Quad Wheel Suspension. Systém fungoval podobně, jako odpružení přední nápravy pomocí rovnoběžníkového zavěšení. Záměr firmy byl navýšit tažnou sílu, umožnit práci ve vyšších rychlostech a zlepšit komfort řidiče. Bohužel nedošlo k uvedení do praxe (Macmillan, 2011).

Řada 8 patří mezi jedny z nejnákladnějších traktorů na trhu. Ke zkoušce na válcích byl přistaven kolový traktor John Deere 8320R vyroben roku 2010. V tab. 1 jsou uvedeny základní technické údaje tohoto traktoru.



Obr. 10: Traktor John Deere 8320R (<http://tractortestlab.unl.edu>, 2009)

Tab. 1: Základní parametry traktoru John Deere uváděné výrobcem

<b>Traktor</b>	<b>John Deere 8320R</b>
<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
<b>Motor</b>	
Číslo motoru	RG 6090L078771*
Číslo traktoru	*1 RW 8320RVAP006517*
Rok výroby	2010
Počet motohodin	3,2
Objem motoru	9 000 cm <sup>3</sup>
Počet válců	6
Počet ventilů	24
Jmenovitý výkon	239/320 [kW/koní]
Max. výkon bez navýšení	255/347 [kW/koní]
Jmenovitý výkon s navýšením	261/355 [kW/koní]
Jmenovité otáčky	2 100 ot/min
Max. točivý moment	1 419 Nm při 1 500 ot/min
Vrtání	118,4 [mm]
Zdvih	136 [mm]
Kompresní poměr	16,3
Pohon ventilátoru chlazení	Varicool- systém s proměnlivými otáčkami ventilátoru chlazení
Přepínání	Turbodmychadlo
Vstřikovací systém	Vysokotlaký Common Rail s plně elektronickým řízením
<b>Převodovka</b>	
Typ	Powershift
Počet převodových stupňů	16F/5R

### 4.3 Metodika měření

Pro získání naměřených dat byla používána data ze snímačů zkušebny a sběr informací ze sítě CAN-Bus. Při laboratorním měření byly naměřeny hodnoty: točivý moment, otáčky motoru, okamžitá spotřeba paliva, teplota plnicího vzduchu, teplota chladicí kapaliny, tlak plnění atd.

#### 4.3.1 Měření točivého momentu

Součástí vozidlové zkušebny je i vířivý dynamometr V-500 (Obr. 11), který snímá točivý moment traktorového motoru pomocí kloubového hřídele přes zadní vývodový hřídel. Technická data jsou uvedena v tabulce číslo 2.

Tab. 2: Základní technické údaje dynamometru

<b>Typ</b>	V 500	
<b>Chlazení</b>	vodní	
<b>Zatížení</b>	trvalé	
	min	max
<b>Otáčky [<math>\text{min}^{-1}</math>]</b>	150	3 000
<b>Výkon [kW]</b>	4	500
<b>Moment [N.m]</b>	254	1 592

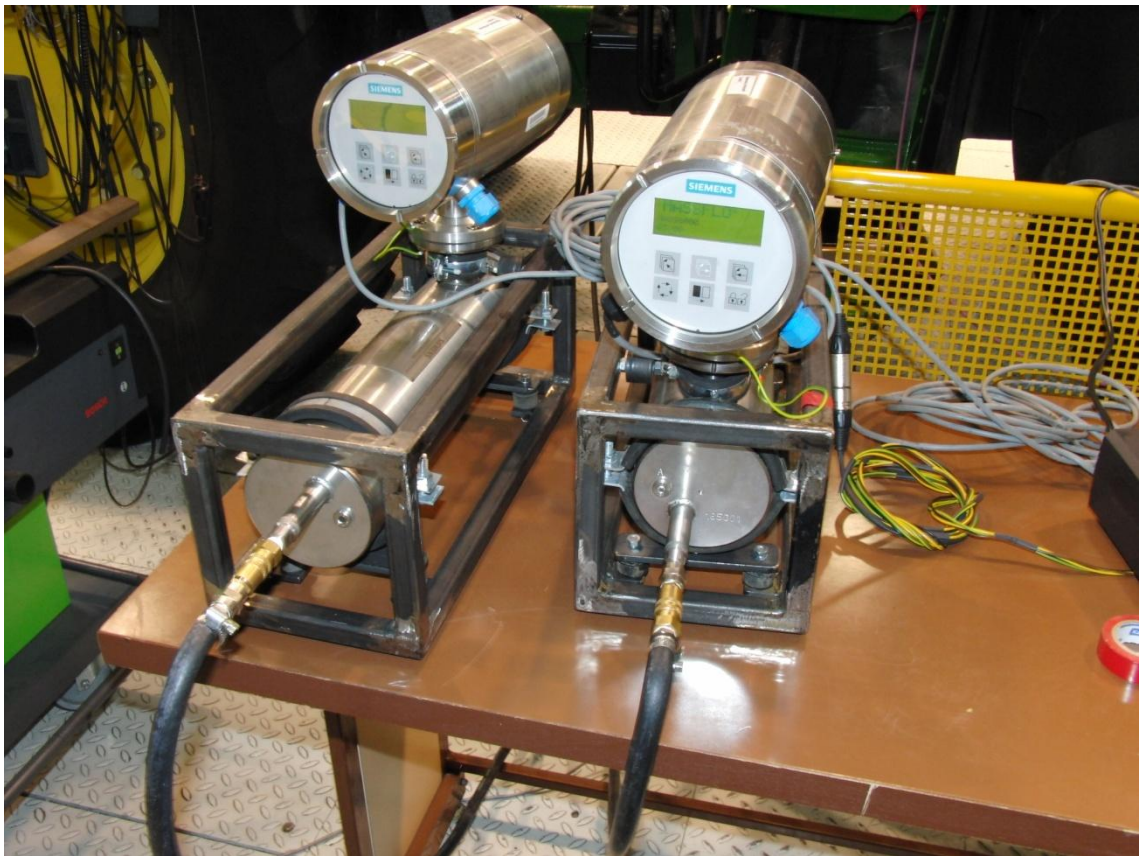


Obr. 11: Elektromagnetický vířivý dynamometr V-500 (foto: Polcar, Adam)

### 4.3.2 Měření spotřeby paliva

Měření spotřeby se provádělo dvěma hmotnostními Coriolisovými průtokoměry, kdy jeden hmotnostně měřil přívod paliva do vysokotlakého čerpadla a druhý měřil přepad zpět do nádrže. Rozdílem hodnot dostaneme výslednou spotřebu paliva  $M_{ph}$ . Označení Coriolisova hmotnostního průtokoměru: Coriolis Sitrans FC MassFlo Mass 6000 (Obr. 12). Měrná spotřeba se vypočítá ze vztahu

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



Obr. 12: Coriolisovy průtokoměry Coriolis Sitrans FC MassFlo Mass 6000 (foto: Polcar, Adam)

### 4.3.3 Měření otáček

Součástí dynamometru je i pulzní snímač LUN 1326.02-8, který měří otáčky vývodového hřídele.

#### **4.3.4 Měření ostatních hodnot**

Teplota je měřena snímači s termočlánky NiCr-Ni a barometrický tlak je měřen piezorezistivním snímačem. Kromě všech externích snímačů ze zkušebny byly další hodnoty měřeny prostřednictvím interních snímačů traktoru a vnášeny do měřícího počítače pomocí digitální komunikační sběrnice CAN-Bus. Takto získaná data bylo možno využít díky tomu, že komunikační síť v traktoru odpovídá standardům ISO a umožňuje nám odečítat různé hodnoty. Například se jednalo o teplotu mazacího oleje, teplotu výfukových plynů, tlak plnění, zatížení motoru, aktuální točivý moment motoru atd. Data byla měřena s frekvencí 18 Hz a všechna byla průběžně ukládána do měřícího počítače. Při všech zkouškách byly nastaveny otáčky PTO na  $1000 \text{ min}^{-1}$  (Bauer, 2010).

#### **4.3.5 Měření charakteristik**

Měření výkonu traktorového motoru na vývodovém hřídeli se provádí podle normy ČSN ISO 789-1 „Zkušební metody. Část 1: Zkoušky výkonu na vývodovém hřídeli.“ K měření točivého momentu motoru přes zadní vývodový hřídel je použit vířivý dynamometr, který je připojen pomocí kloubového hřídele. Regulaci dynamometru a snímání naměřených údajů zajišťuje řídicí počítač vozidlové zkušebny. Pomocí programu LabVIEW (Obr. 13) je možno průběh zkoušky automatizovat podle nastavených parametrů a zvolením typu zkoušky (Ústav techniky a automobilové dopravy MENDELU, 2016).



Obr. 13: Technické prostředí řídicího počítače (foto: Polcar, Adam)

#### 4.3.6 Kreslení charakteristiky

Aby nebyla porušena přehlednost charakteristik, je žádoucí mít diagramy charakteristik o větším počtu provozních veličin vhodně rozloženy. Jednotlivé křivky veličin nebo jejich soustavy by se neměly překřížovat a ani vzájemně do sebe zasahovat. Naměřené nebo vypočtené hodnoty odpovídají bodům, které se vynášejí do grafů a prokládají se charakteristickými křivkami. Na obou stranách diagramu mohou být stupnice odpovídající znázorňujícím křivkám. U těchto os pořadnic jsou také udány číselné hodnoty a jednotky. Pro rozlišení křivek je účelné použití různých druhů čar a barevné zobrazení. K dokonalejší orientaci v charakteristice slouží legenda diagramu vysvětlující význam různých typů čar (Ondráček, 1989).

## 5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

### 5.1 Podmínky v laboratoři

Před samotným měřením byly zjištěny atmosférické podmínky v laboratoři, které jsou uvedeny v tabulce číslo 3.

Tab. 3: Laboratorní podmínky

Teplota [°C]	24,7
Tlak [kPa]	98,8
Relativní vlhkost [%]	70

### 5.2 Jmenovitá otáčková charakteristika

Při jmenovité otáčkové charakteristice byl v převodovce nastaven převod pro 1000 otáček za minutu vývodového hřídele. Vlastní měření charakteristiky probíhá staticky, v ustálených režimech. Jmenovitá charakteristika je tvořena 15 a více body danými točivým momentem a otáčkami motoru, na které je zatěžován. Po zatížení na určený bod proběhne nejprve ustálení parametrů motoru a následně se provede záznam měřených dat a vypočtou se průměrné hodnoty. Celá zkouška probíhá automaticky pomocí programu v řídicím počítači zkušebny. Současně jsou měřeny hodnoty točivého momentu, otáček vývodového hřídele, spotřeba paliva a údaje ze sběrnice traktoru CAN-Bus. Ze sběrnice byla sbírána hlavně data o zatížení motoru, provozních teplotách, aktuálním točivém momentu a hodinové spotřebě paliva (Bauer, 2010). Data z měření jmenovité otáčkové charakteristiky jsou velmi obsáhlá, proto v následující tabulce číslo 4 jsou vynesena jen data základní.



Tab. 4: Naměřená data pro jmenovitou otáčkovou charakteristiku

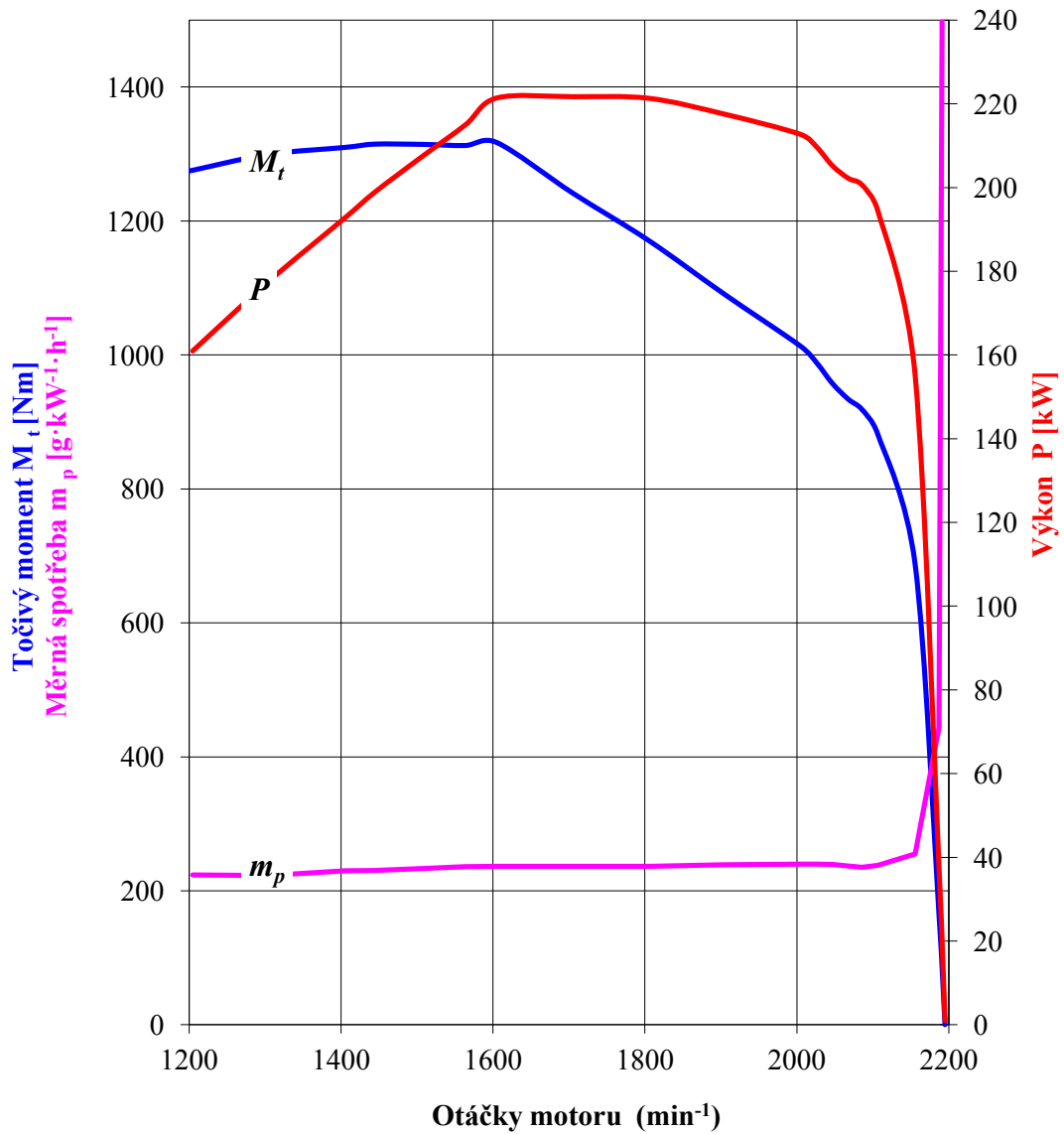
Otáčky motoru	Točivý moment	Výkon	Zatížení	Aktuální točivý moment z CAN-Bus	Teplota chladicí kapaliny	Spotřeba paliva	Měrná spotřeba paliva
min <sup>-1</sup>	Nm	kW	%	%	°C	kg·h <sup>-1</sup>	g·kW <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>
2186,9	166,7	38,2	40,0	28,0	83,0	16,9	443,5
2155,6	688,0	155,3	91,6	67,7	85,4	39,6	255,1
2106,3	882,2	194,6	100,0	79,0	92,0	46,4	238,2
2085,6	918,7	200,7	100,0	81,0	97,6	47,1	234,9
2067,7	933,9	202,2	100,0	83,0	99,0	47,9	236,9
2046,9	957,3	205,2	100,0	85,0	97,0	49,1	239,4
2025,9	988,5	209,7	100,0	87,0	96,0	50,3	239,8
2005,1	1012,9	212,7	100,0	89,0	95,0	51,0	239,8
1904,3	1090,9	217,6	100,0	93,0	96,0	51,9	238,7
1805,1	1170,8	221,3	100,0	97,1	97,7	52,4	236,8
1705,0	1241,7	221,7	100,0	102,0	99,9	52,5	236,6
1605,1	1317,2	221,4	100,0	107,6	103,5	52,4	236,7
1563,6	1312,8	215,0	100,0	107,0	103,5	50,7	236,0
1506,2	1314,5	207,3	100,0	107,0	102,0	48,3	233,1
1443,8	1314,9	198,8	100,0	106,0	101,0	45,8	230,6
1405,2	1310,0	192,8	100,0	106,0	100,0	44,3	229,7
1303,5	1299,5	177,4	100,0	104,0	98,5	39,5	222,7
1204,7	1275,8	161,0	100,0	103,0	97,4	36,0	223,6

Základní hodnoty z uvedené tabulky číslo 4 jsou vyneseny do grafu, který je vykreslen na obrázku číslo 14. V grafu je tedy vykreslena křivka točivého momentu, výkonu a měrné spotřeby paliva v závislosti na otáčkách. Měření traktorového motoru John Deere 8320R probíhalo v otáčkovém rozmezí otáček od 1205 do 2187 min<sup>-1</sup>. Ve velkém rozmezí otáček (1500 – 2000 otáček za minutu) motor vykazuje stabilní vysoký výkon, který při otáčkách 1705 min<sup>-1</sup> je nejvyšší a dosahuje hodnoty 221,7 kW. Točivý moment dosáhl maxima 1317 Nm při otáčkách 1605 min<sup>-1</sup>. Díky převýšení točivého momentu, dosahuje motor stabilního výkonu. Převýšení točivého momentu se vypočítá ze vztahu:

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

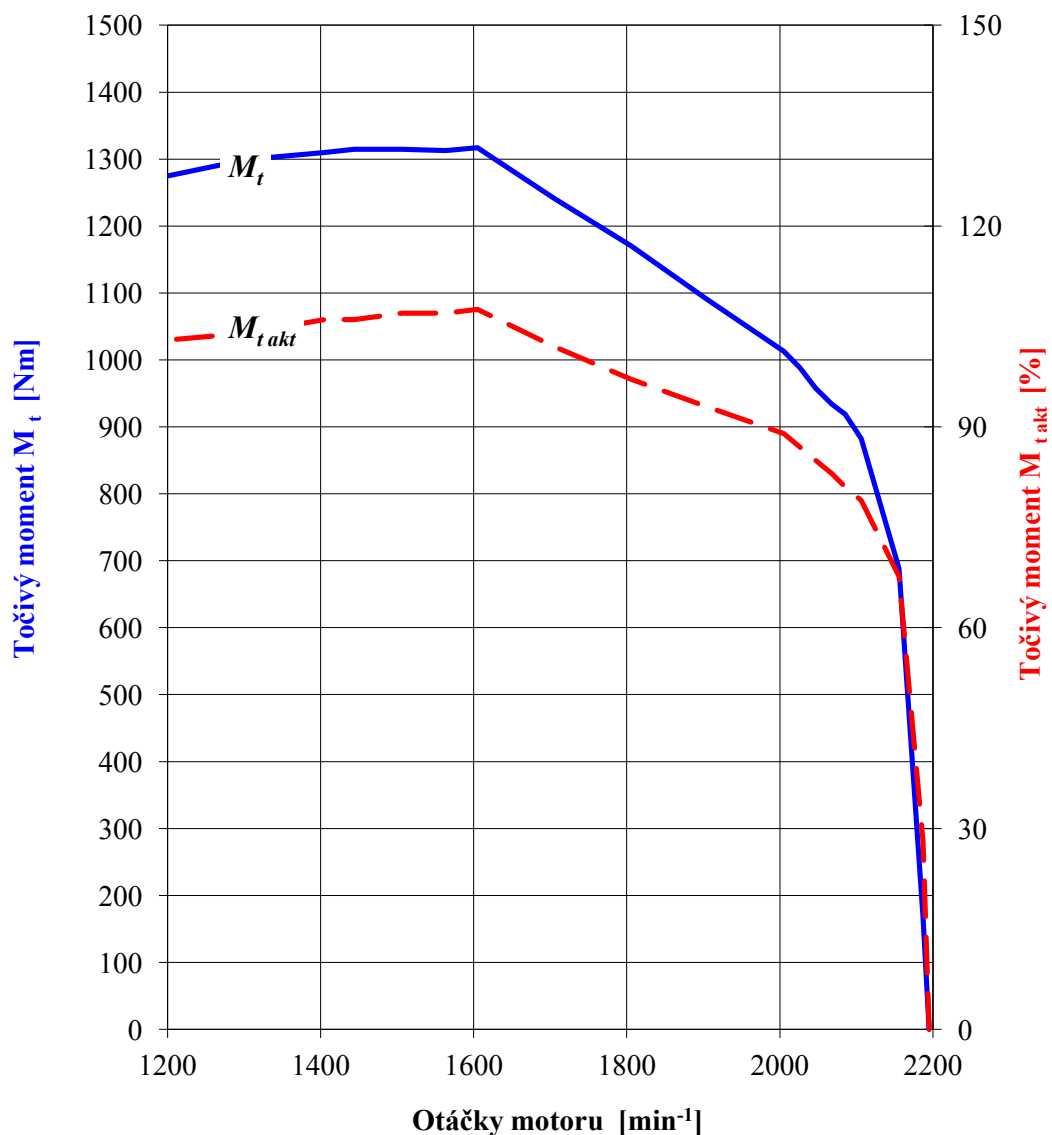
U tohoto motoru převýšení točivého momentu dosahovalo od jmenovitých otáček 2100 min<sup>-1</sup> po otáčky maximálního točivého momentu 49 %. Ve jmenovitých otáčkách

měl motor 882,2 Nm točivého momentu a 194,6 kW výkonu. Měrná spotřeba paliva byla vypočítaná z hodnot Coriolisových hmotnostních průtokoměrů a nejnižší byla při otáčkách  $1304 \text{ min}^{-1}$  a ta činila  $222,7 \text{ g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ .



Obr. 14: Jmenovitá otáčková charakteristika

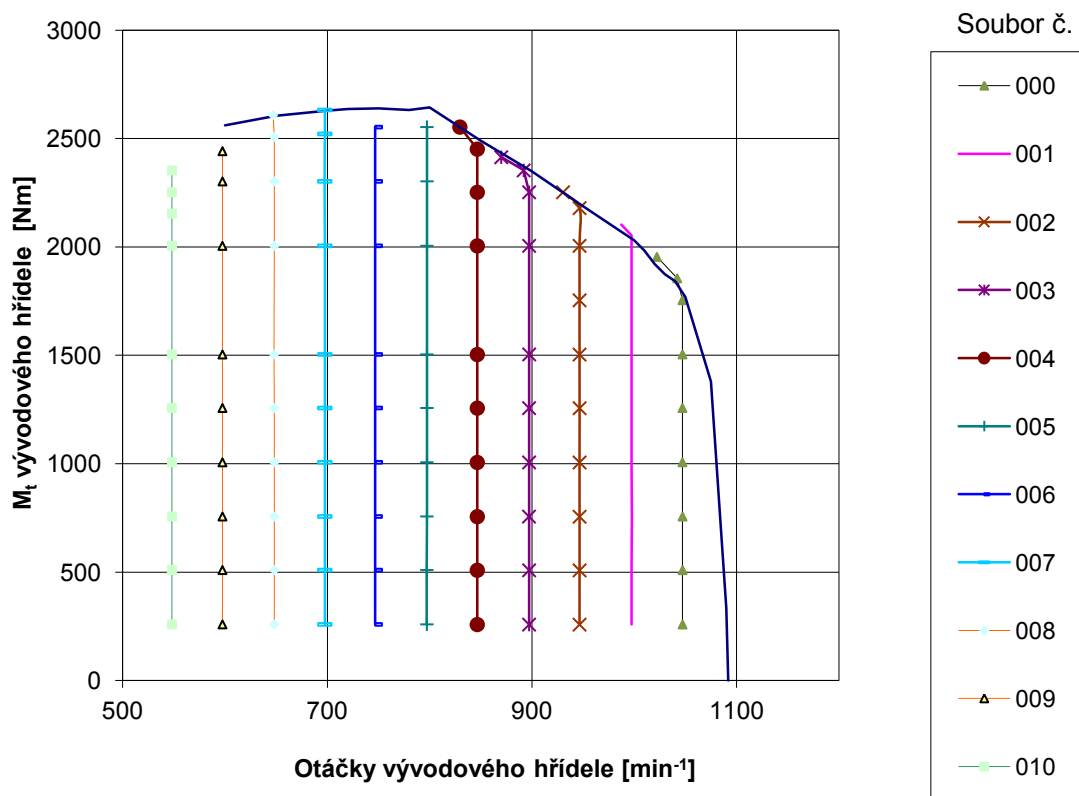
Jedna z nejdůležitějších hodnot odebíraných z digitální sběrnice CAN-Bus je aktuální točivý moment, který se udává v procentech. Tento naměřený moment je spolu s točivým momentem zjištěným pomocí dynamometru na vývodovém hřídeli vkreslen do grafu na obrázku číslo 15. Z grafu je patrné, že křivky se navzájem kopírují a ve jmenovitých otáčkách motor vykazoal 79 %. V maximálním naměřeném točivém momentu na PTO byl i aktuální točivý moment maximální, který byl 107,6 %.



Obr. 15: Graf porovnání aktuálního točivého momentu s naměřeným

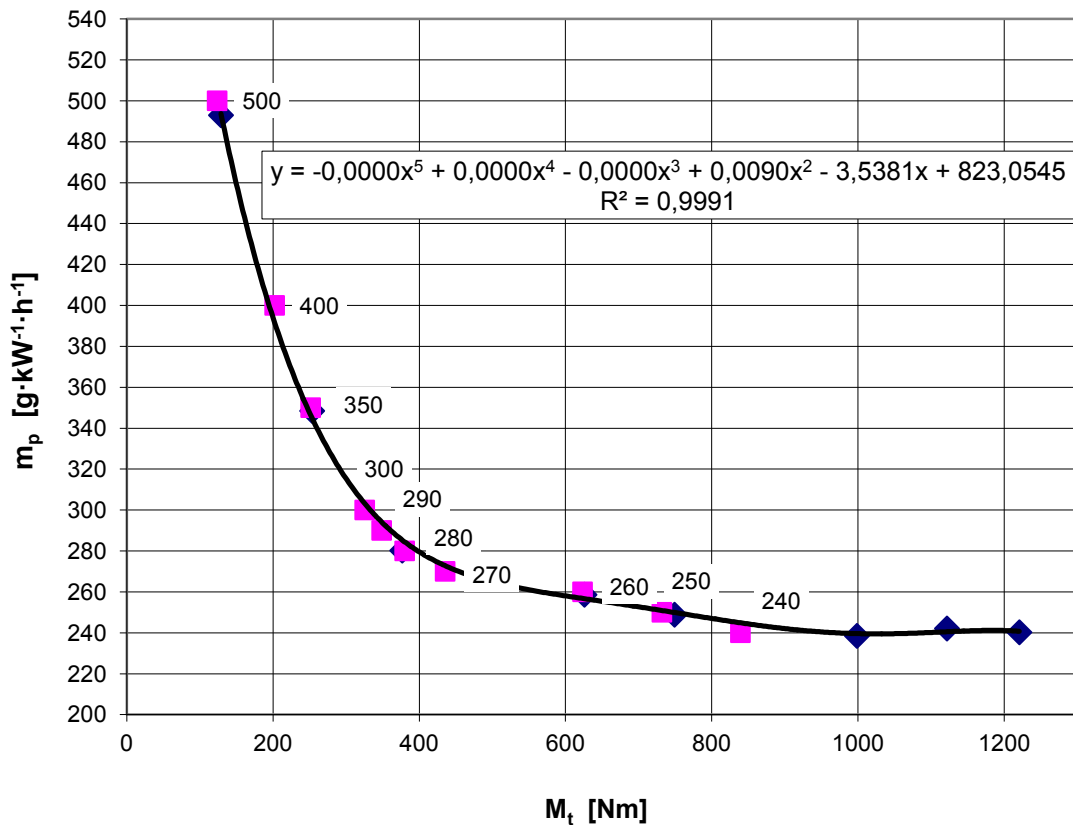
### 5.3 Úplná otáčková charakteristika

Úplná otáčková charakteristika byla sestrojena pomocí jedenácti částečných otáčkových charakteristik naměřených při různých dodávkách paliva a jmenovité otáčkové charakteristiky. Při měření částečné otáčkové charakteristiky se nastavily v systému traktoru konstantní otáčky a postupně se zatěžovalo. Byla odečítána data o točivém momentu, měrné spotřebě paliva, zatížení a hodinové spotřebě ze sítě CAN-Bus. Vnesení jedenácti částečných charakteristik do jmenovité otáčkové charakteristiky je vidět na následujícím obrázku.



Obr. 16: Vnesení částečných otáčkových charakteristik

Pro vyhodnocení a určení stejných měrných spotřeb paliva na regulátorových větvích byla použita polynomičká interpolace v programu Microsoft Excel. Pomocí metody nejmenších čtverců se naměřené hodnoty proložily polynomem 5. stupně, jak je vidět na obrázku číslo 17. Modré hodnoty jsou naměřené měrné spotřeby v závislosti na točivém momentu. Fialové jsou požadované hodnoty dopočítané pro vykreslení izočar do úplné otáčkové charakteristiky.



Obr. 17: Znáornění dopočítaných požadovaných hodnot měrné spotřeby

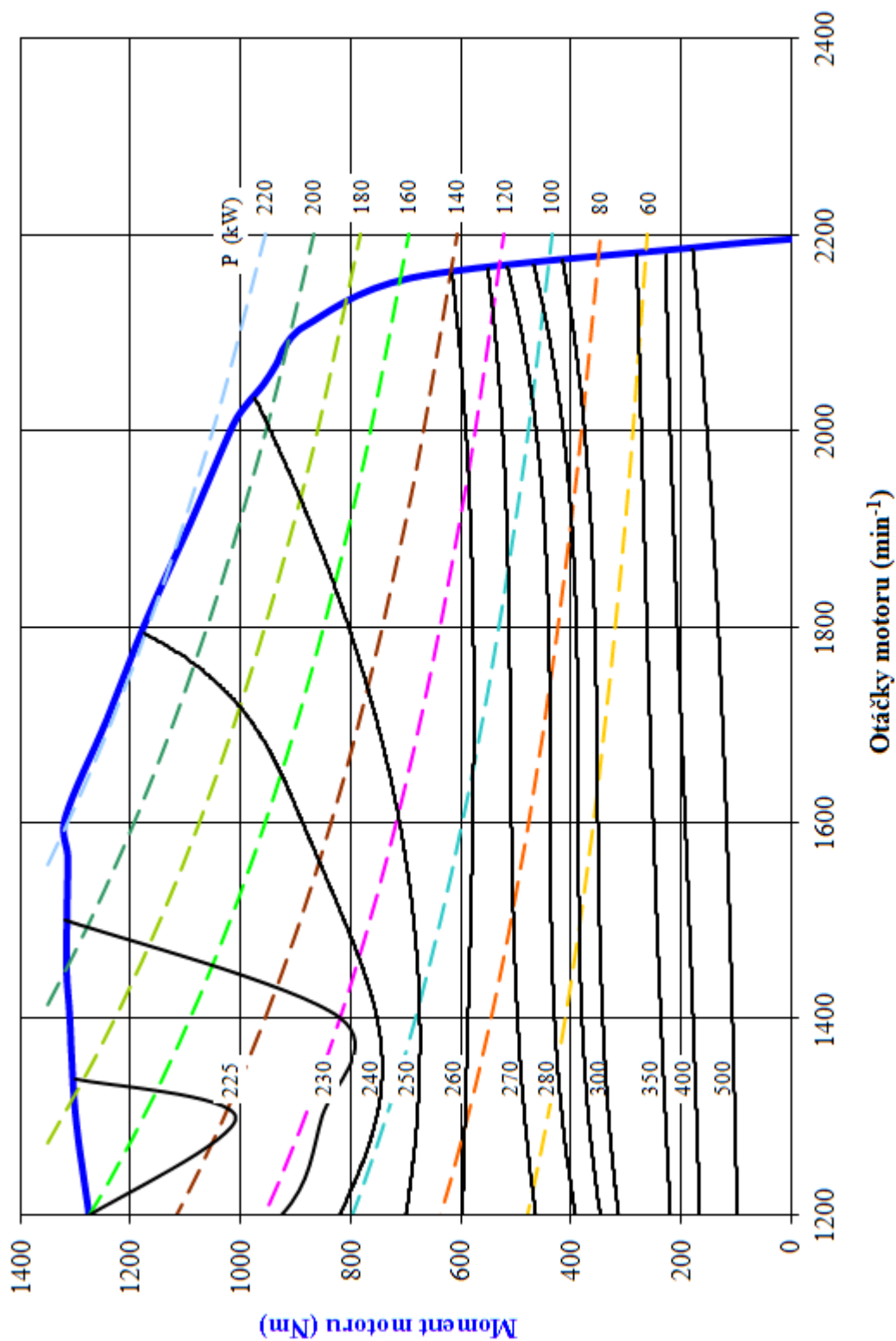
Podobně byly vypočteny lineární závislosti točivého momentu na otáčkách motoru, čímž jsme dostali rovnici přímky, na kterou se dané požadované měrné spotřeby vynášely. Propojením stejných hodnot měrné spotřeby paliva vznikly požadované izočáry. V úplné otáčkové charakteristice nesmí chybět i hyperboly stálých výkonů (Bauer, 2010). Stejným způsobem byly řešeny i úplné charakteristiky s vynesným zatížením motoru, s hodinovou spotřebou a s aktuálním točivým momentem.

### 5.3.1 Úplná otáčková charakteristika s vynesenu měrnou spotřebou paliva

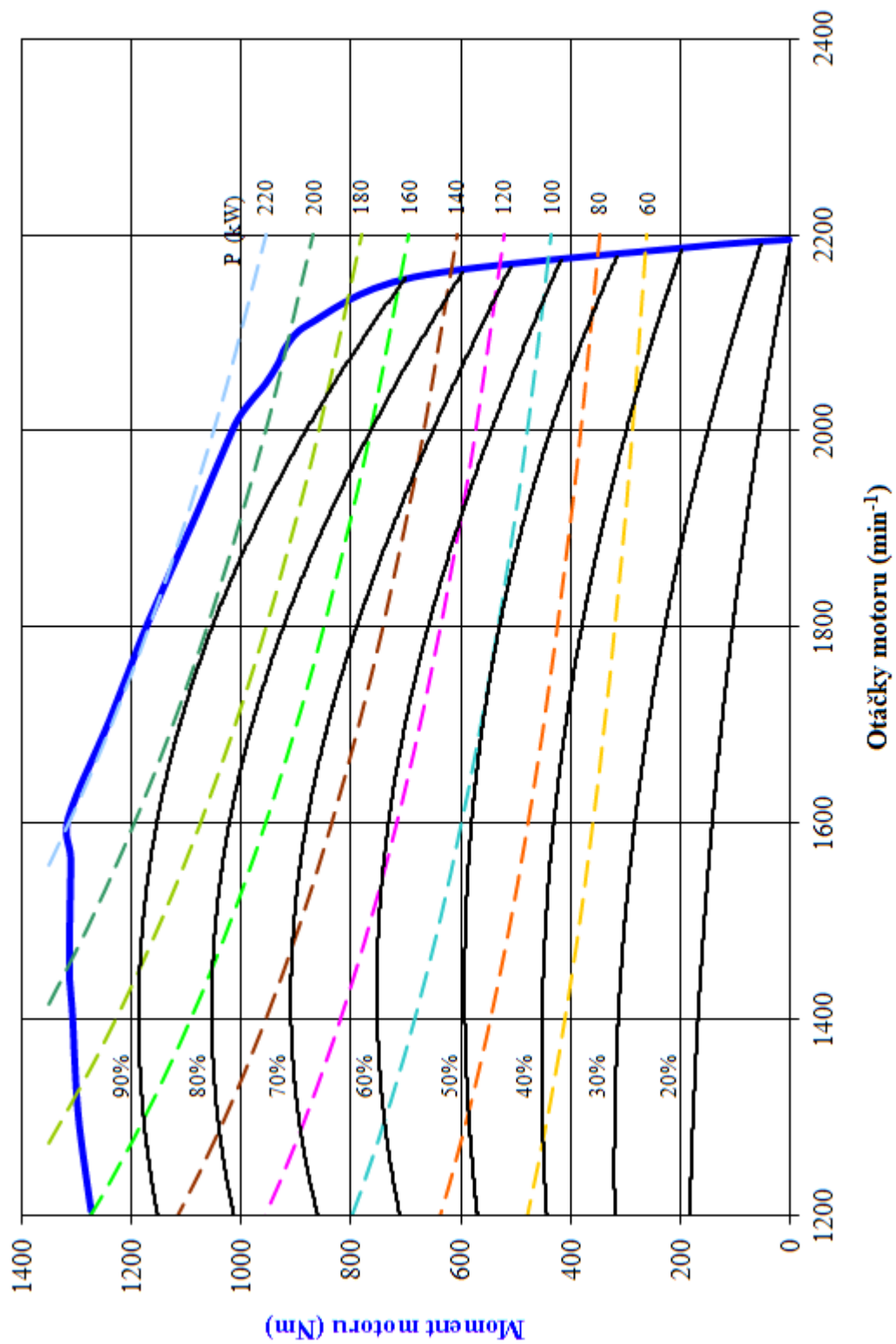
Tento graf je u motoru považován za nejdůležitější a nejpoužívanější. Jsou v něm znázorněny důležité parametry závislé na průběhu chodu motoru. Z grafu na obrázku číslo 18, je patrna nejnižší měrná spotřeba paliva, a to při točivém momentu 1010 Nm až 1300 Nm v rozmezí otáček 1200 až 1340 min<sup>-1</sup>. Dále se dá vyčíst, že kdybychom využívali 140 kW výkonu při otáčkách 1300 min<sup>-1</sup> oproti 2100 min<sup>-1</sup>, tak motor poběží v ekonomičtějším režimu s měrnou spotřebou nižší o 35 g·kW<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>. Nejvyššího stálého výkonu 220 kW lze dosáhnout v rozmezí otáček 1600 – 1900 min<sup>-1</sup> při měrné spotřebě paliva 235 – 245 g·kW<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>.

### 5.3.2 Úplná otáčková charakteristika s vneseným zatížením motoru

Důležitou hodnotou získanou ze sítě CAN-Bus je zatížení motoru, které se udává v procentech. Zatížení udává kolika procentní je vytížení traktorového motoru. Obdobně, jak byla vytvořena úplná otáčková charakteristika s měrnou spotřebou paliva, byla vytvořena i tato charakteristika. V grafu na obr. 19 je zatížení vnesené do úplné otáčkové charakteristiky. Stoprocentní zatížení není zakreslené vlastní izočarou, protože je shodné se jmenovitou otáčkovou charakteristikou. Izočáry nižšího zatížení kopírují křivku jmenovité charakteristiky. Můžeme si všimnout, že nižší hodnoty zatížení neodpovídají skutečnému poměru točivého momentu. Tato chyba se zvětšuje s rostoucími otáčkami.



Obr. 18: Graf úplné charakteristiky s vynesou měrnou spotřebou [ $\text{g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ]



Obr. 19: Graf úplné charakteristiky s vyneseným zatížením motoru v procentech



### **5.3.3 Úplná otáčková charakteristika s vynesenu hodínovou spotřebou paliva**

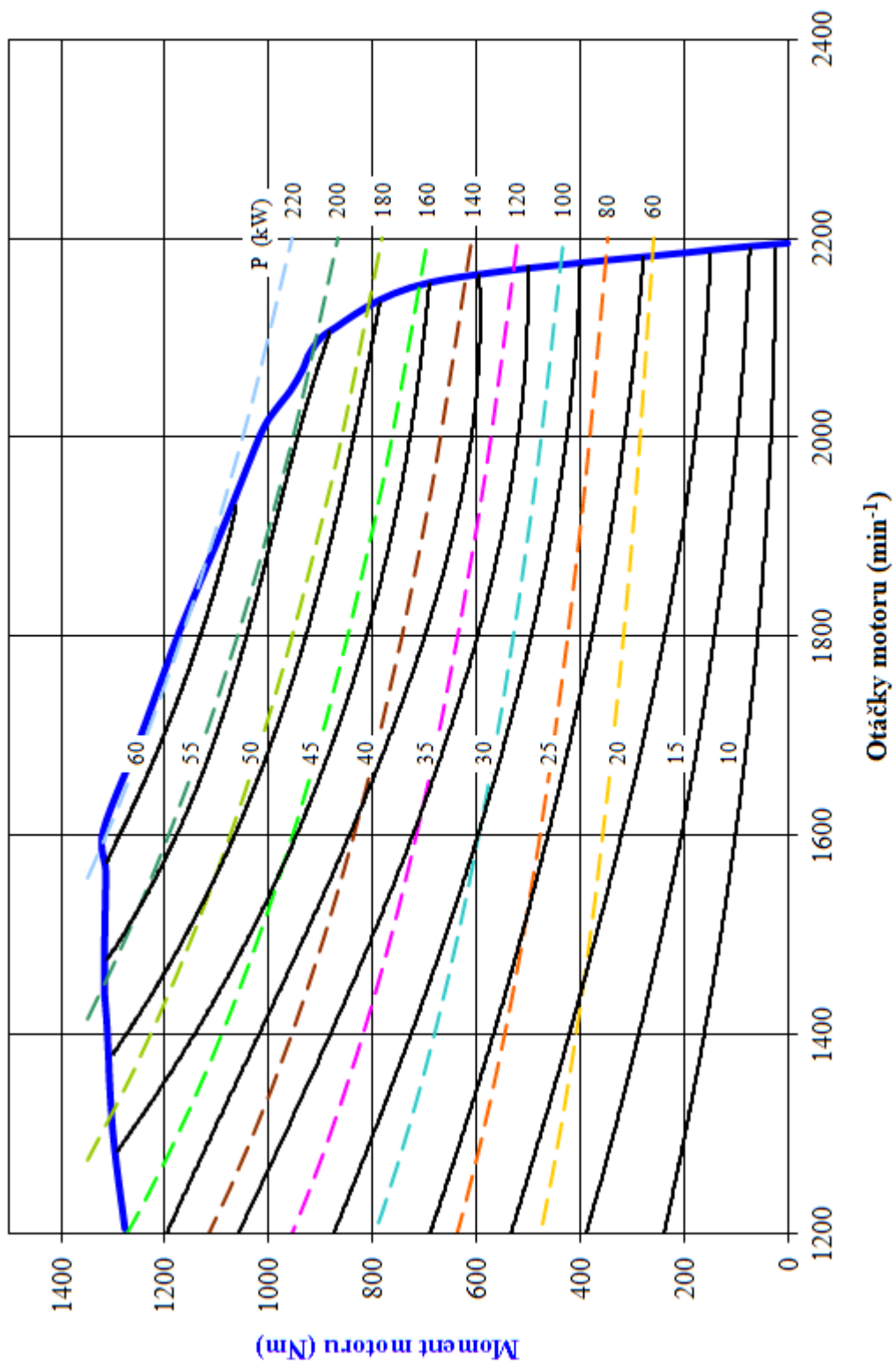
Tato charakteristika je vhodná pro rychlý přehled o hodinové spotřebě paliva. Data byla měřena z digitální sítě CAN-Bus a udává se v  $l \cdot h^{-1}$ . Na obrázku s číslem 20 můžeme vidět, že hodinová spotřeba skoro odpovídá křivkám výkonů. Největší hodinová spotřeba 65 litrů za hodinu je při využití 220 kW výkonu. Dále je patrné, že při více ekonomickém chodu motoru s využitím 140 kW, jak bylo uvedeno v kapitole 5.3.1, může ušetřit až 5 litrů paliva za jednu hodinu. Z toho vyplývá, že při jednotném výkonu s rostoucími otáčkami roste spotřeba paliva.

### **5.3.4 Úplná otáčková charakteristika s vynesenu aktuálním točivým momentem**

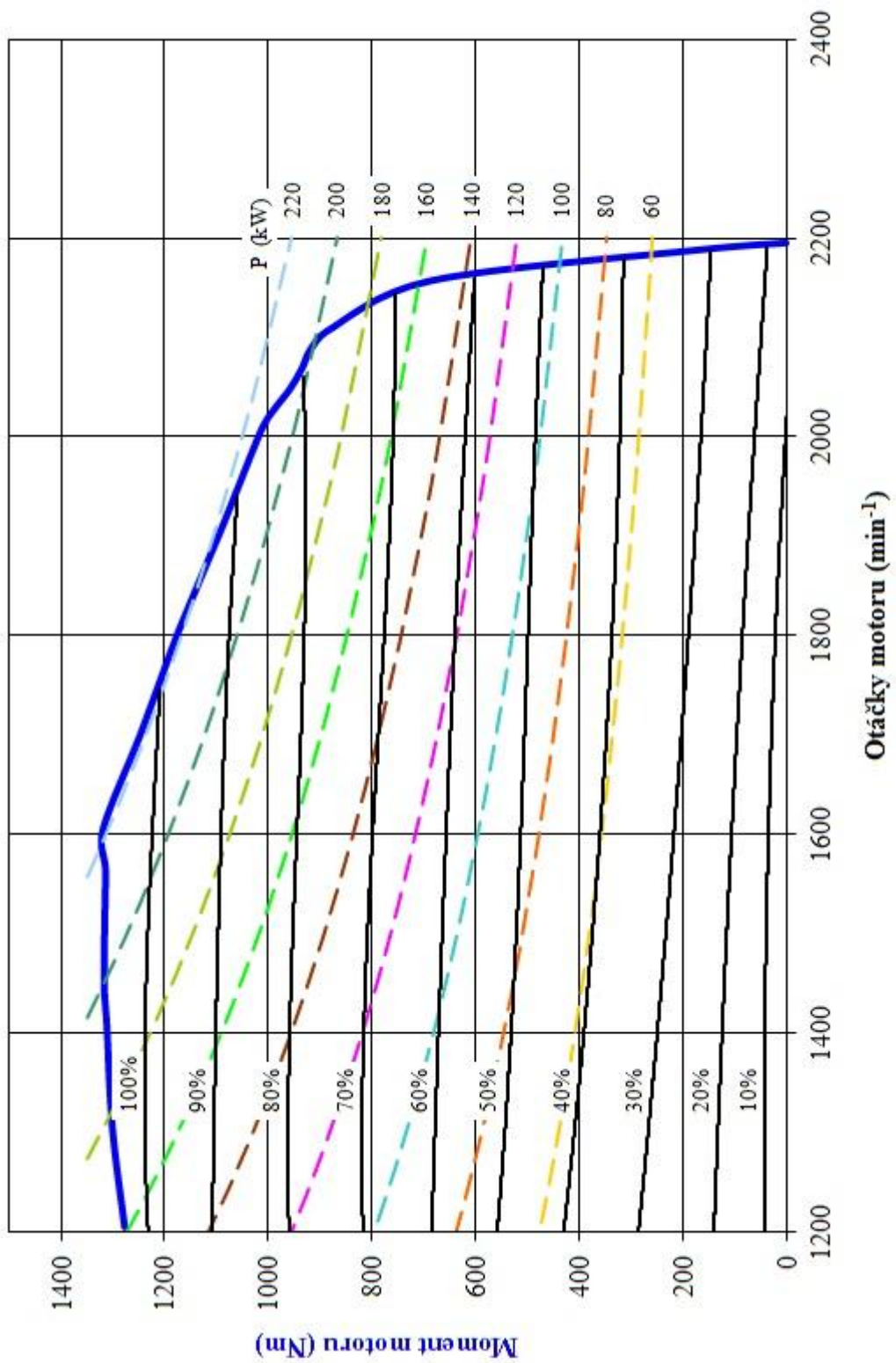
Další z důležitých hodnot ze sítě CAN-Bus, která udává procentuálně aktuální točivý moment. U traktoru John Deere 8320R může tato hodnota dosahovat až 107,6 %, jak bylo uvedeno již v kapitole 5.2. Z grafu (Obr. 21) je patrná i neshoda nižších procent oproti skutečnému momentu. Z aktuálního točivého momentu systém traktoru vypočítává okamžitý výkon a točivý moment. Aby nedocházelo k chybnému výpočtu, je potřebné porovnání hodnot aktuálního točivého momentu se skutečně naměřeným. Proto se dělá tato úplná charakteristika pro kalibraci systému.

### **5.3.5 Úplná otáčková charakteristika s plnicím tlakem turbodmyhadla**

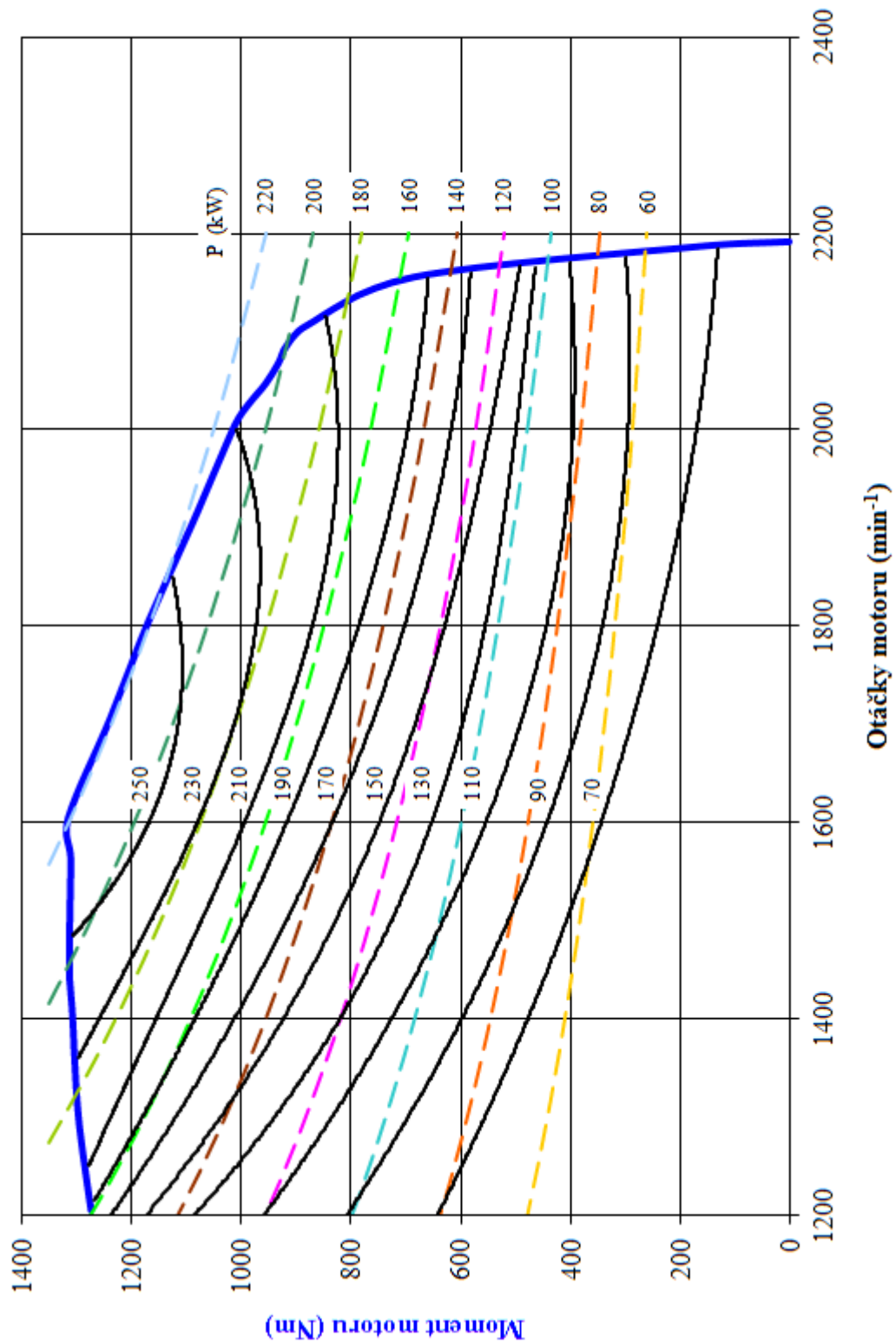
Plnicí tlak turbodmyhadla je uveden v kPa a je vkreslen do úplné charakteristiky na obrázku 22. Maximální plnicí tlak je 250 kPa v rozmezí otáček 1500 – 1850  $min^{-1}$ . S klesajícím výkonem i plnicí tlak klesá.



Obr. 20: Graf úplné charakteristiky s vynesenu hodinovou spotřebou [ $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ ]



Obr. 21: Graf úplné charakteristiky s vynesným aktuálným točivým momentem [%]



Obr. 22: Úplná charakteristika s vynesným plnicím tlakem turbodmychadla [kPa]

## 6 ZÁVĚR A DISKUZE

Hlavním cílem diplomové práce bylo vytvořit úplnou charakteristiku traktorového motoru. Měření traktoru John Deere 8320R proběhlo v areálu Mendelovy univerzity v Brně ve vozidlové zkušební ústavu techniky a automobilové dopravy za pomoci vířivého dynamometru, který byl připojen na vývodový hřídel traktoru.

Výrobce traktoru John Deere 8320R udává jmenovitý výkon 239 kW, maximální výkon bez navýšení 255 kW a maximální točivý moment 1419 Nm při otáčkách 1500 min<sup>-1</sup>. Na zkušební byl naměřen jmenovitý výkon 194,6 kW, maximální výkon bez navýšení 221,7 kW a maximální točivý moment 1317 Nm při otáčkách 1605 min<sup>-1</sup>. Nejmenší měrná spotřeba byla 222,7 g·kW<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> při otáčkách 1304 min<sup>-1</sup>. Údaje byly zakresleny do jmenovité otáčkové charakteristiky. Rozdíl hodnot naměřených a vypočítaných s hodnotami od výrobce vznikl kvůli ztrátám v převodech na vývodový hřídel a kvůli zapnutému příslušenství motoru. Díky těmto podmínkám lze říci, že naměřená data jsou prakticky pro uživatele reálnější, protože naměřené parametry motoru jsou zjištěny z traktoru jako celku, ne jen motoru.

Stejný typ traktoru John Deere 8320R byl měřený v roce 2009 v Nebrasce místní vysokou školou, kde dospěli k podobným výsledkům.

Dále byla naměřena data částečných otáčkových charakteristik, která sloužila ke zkonstruování úplných otáčkových charakteristik. Úplná charakteristika se nakreslila ze jmenovité otáčkové charakteristiky, do které byly vkládány hodnoty z jedenácti měření částečných charakteristik. Celkem jsem vytvořil pět úplných charakteristik s vynesáním různých hodnot: s měrnou spotřebou, zatížením motoru, hodinovou spotřebou, s aktuálním točivým momentem motoru a s plnicím tlakem turbodmychadla.

Co se týče využití, tak otáčkové charakteristiky se dají využít pro posouzení vlastností motoru, který pracuje s proměnlivými otáčkami. Pouze jmenovitá otáčková charakteristika se udává u všech typů pracujících motorů. U dopravních motorů se používají soustavy otáčkových charakteristik. Zatěžovací charakteristiky se hodí ke stacionárním motorům, které pracují ve stálých otáčkách. V prototypových výzkumech motorů se používají seřizovací charakteristiky k určení optimálního nastavení motoru. Úplné charakteristiky se taky uplatňují ve vývoji, hlavně při podrobnějším studiu daného motoru. Během vývoje se motor zkouší v různých stádiích, různě vybaveném. Tím se zjišťuje velikost naměřeného výkonu s ventilátorem, alternátorem, klimatizací atd.

Díky úplné charakteristice lze jednoduše zjistit, že některé důležité hodnoty v síti CAN-Bus neodpovídají skutečným hodnotám. Pomocí těchto charakteristik se může provést i kalibrace systému.

Čtení v úplných charakteristikách není úplně jednoduché a mnoho lidí to ani nezvládne. Převážně řidiči traktorů. Přičemž znalostí těchto charakteristik by ulehčilo práci samotného stroje i snížili provozní náklady na palivo. Jak je vidět v grafu s vynesenu hodinovou spotřebou paliva na obr. 18, tak při výkonu 140 kW může být rozdíl ve spotřebě až 5 litrů za hodinu díky správnému nastavení otáček na  $1300 \text{ min}^{-1}$  než na otáčky jmenovité. Proto se v dnešních traktorech využívá plynulých převodovek pro efektivní nastavení otáček motoru.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BAUER, František, Pavel SEDLÁK, Jiří ČUPERA a kol. *Traktory a jejich využití*. 2. vyd. Praha: Profi Press, 2013, 224 s. ISBN 978-80-86726-52-6.

BAUER, František. *Vyhodnocení měření kolového traktoru John Deere 8320R a pásového traktoru John Deere 8320RT ve vozidlových laboratořích a v terénu*. Mendelova univerzita v Brně: Ústav techniky a automobilové dopravy, 2010.

BELL, Brian a COUSINS, Stewart. *Machinery for horticulture*. 2nd ed. Ipswich, U.K: Farming Press, 1997. ISBN 0852363699.

COXON, John. *Cross-section of a Froude DPX dynamometer* [online]. 2010 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://www.highpowermedia.com>

ČSN 09 0851. *Spalovací motory. Charakteristiky naftových motorů*. 1977.

ČSN ISO 789-1. *Zemědělské traktory. Zkušební metody. Část 1: Zkoušky výkonu na vývodovém hřídeli*. 1994.

HOY, Roger M. *Nebraska EOCD tractor test 1963 - summary 660 John Deere 8320R diesel 16 speed* [online]. 2009 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://tractortestlab.unl.edu/>

MACEK, Jan. *Spalovací motory I*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03618-1.

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.

Mobilní dynamometr. *Hodnocení technického stavu traktorového motoru měřením jeho výkonu a spotřeby* [online]. [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://mobilnibrzda.webnode.cz/>

ONDRÁČEK, Jaroslav. *Mobilní energetické prostředky I.: (návody do cvičení)*. 2., přeprac. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně, 1989.

RUŽIČKA, Milan a kol. *Zemědělské traktory. Spalovací motory. 2. díl*. 1. vyd. Praha: SZN, 1979, 344 s.

SMOLEK, Jan. *Kontrola a měření strojních zařízení* [online]. [cit. 2016-04-26]. Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno Dostupné z: [http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY\\_32\\_INOVACE\\_24-16.pdf](http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_24-16.pdf)

SVÍDA, David. *Zkoušení pístových spalovacích motorů* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2872761/#>

SYROVÝ, Otakar, Alexander BARTOLOMĚJEV, František BAUER a kol. *Doprava v zemědělství*. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2008, 248 s. ISBN 978-80-86726-30-4.

TAKÁTS, Michal. *Měření emisí spalovacích motorů*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01632-3.

TRNKA, Jaroslav a URBAN, Jaroslav. *Spalovacie motory I*. 3. vyd. Bratislava: Slovenská vysoká škola technická, 1989. ISBN 80-227-0146-7.

Ústav techniky a automobilové dopravy MENDELU. *Měřicí stanoviště výkonových parametrů traktorů* [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/novinky.htm>

VÁVRA, Kevin. *Charakteristiky spalovacích motorů* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2020374/>



VLK, František. *Zkoušení vozidel*. 3. vyd. Brno: VUT, 1992. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0403-5.

Vysoké učení technické v Brně. *Zatěžovací stroje* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/daq/Ka03-10.htm>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Příklad jmenovité charakteristiky (Mobilní dynamometr, 2016) .....	13
Obr. 2: Vnější otáčková charakteristika spalovacího motoru (Svída, 2016) .....	14
Obr. 3: Otáčková charakteristika s regulátorem (Vávra, 2016): a) Omezovací regulátor, b) Výkonnostní regulátor .....	15
Obr. 4: Příklad úplné otáčkové charakteristiky (Svída, 2016) .....	18
Obr. 5: Pronyho mechanická brzda (Smolek, 2016) .....	20
Obr. 6: Froudeho hydraulická brzda (Coxon, 2010) .....	21
Obr. 7: Elektromagnetická vířivá brzda (Vlk, 1992) .....	22
Obr. 8: Schéma zkušebny (Ústav techniky a automobilové dopravy MENDELU, 2016) .....	24
Obr. 9: Schéma kompletní zkušebny pro traktory VDU E270T – E150T a pro osobní automobily 4VDM E120D (Ústav techniky a automobilové dopravy MENDELU, 2016) .....	25
Obr. 10: Traktor John Deere 8320R ( <a href="http://tractortestlab.unl.edu">http://tractortestlab.unl.edu</a> , 2009) .....	26
Obr. 11: Elektromagnetický vířivý dynamometr V-500 (foto: Polcar, Adam) .....	28
Obr. 12: Coriolisovy průtokoměry Coriolis Sitrans FC MassFlo Mass 6000 (foto: Polcar, Adam) .....	29
Obr. 13: Technické prostředí řídicího počítače (foto: Polcar, Adam) .....	31
Obr. 14: Jmenovitá otáčková charakteristika .....	34
Obr. 15: Graf porovnání aktuálního točivého momentu s naměřeným .....	35
Obr. 16: Vnesení částečných otáčkových charakteristik .....	36
Obr. 17: Znázornění dopočítaných požadovaných hodnot měrné spotřeby .....	37
Obr. 18: Graf úplné charakteristiky s vnesenou měrnou spotřebou [ $\text{g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ] .....	39
Obr. 19: Graf úplné charakteristiky s vneseným zatížením motoru v procentech .....	40
Obr. 20: Graf úplné charakteristiky s vnesenou hodinovou spotřebou [ $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ ] .....	42
Obr. 21: Graf úplné charakteristiky s vneseným aktuálním točivým momentem [%] .....	43
Obr. 22: Úplná charakteristika s vneseným plnicím tlakem turbodmychadla [ $\text{kPa}$ ] ....	44

## **SEZNAM TABULEK**

Tab. 1:	Základní parametry traktoru John Deere uváděné výrobcem.....	27
Tab. 2:	Základní technické údaje dynamometru.....	28
Tab. 3:	Laboratorní podmínky .....	32
Tab. 4:	Naměřená data pro jmenovitou otáčkovou charakteristiku .....	33