

# Regulační křivky vznětového motoru s výkonnostním regulátorem

Článek se zabývá měřením regulační křivky vznětového spalovacího motoru traktoru s výkonnostním regulátorem. Je zde změřena regulační křivka otáčkové charakteristiky motoru AP98-4 v traktoru Challenger MT775E o jmenovitém výkonu 298 kW ve dvou předvolených otáčkách 1600 ot/min a 1990 ot/min. Tyto regulační křivky jsou následně srovnány.

The article deals with measurement of the regulation curve of compression ignition engine of the tractor with performance regulator. In the paper the regulation curve of the rotation speed characteristics of the engine AP98-4, located in the tractor Challenger MT775E is measured at two predefined rotation speeds 1600 1/min and 1990 1/min. Then, these regulation curves are compared.

Regulace vznětových spalovacích motorů se musí přizpůsobovat zátěži motoru a především změnám zatížení v čase. Podle způsobu provozu vznětového motoru můžeme rozdělit regulace na omezovací a výkonnostní otáčkové (Bauer et al. 2013). Omezovací regulátor začíná působit až při překročení jmenovitých otáček tak, že snižuje dávku paliva na nižší hodnotu. Při dosažení maximálních otáček odpovídá dávka paliva volnoběžné dávce. Regulátor tak pouze brání přetočení motoru. Tyto regulátory se používají u motorů osobních a nákladních automobilů (Hromádko et al. 2011).

Výkonnostní regulátor působí v celém spektru otáček i zatížení. Úkolem výkonnostních regulátorů je především udržovat pokud možno konstantní otáčky, proto se využívají například v zemědělské praxi pro spalovací motory traktorů. Vnější otáčková charakteristika motoru s výkonnostním regulátorem je na obrázku 1. Ovládací pákou jsou nastaveny požadované otáčky a regulátor nastavuje dávku paliva tak, aby tyto otáčky byly dodrženy, přitom se pohybuje po tzv. regulační křivce. Traktor se při práci v polních podmínkách pohybuje naprostou většinu času po této regulační křivce (Golverk, 1994; Janulevičius et al. 2013; Loutridis et al., 2011).

Výkonnostní regulátory mohou být rozděleny z hlediska principu na čisté mechanické, kombinaci mechanického způsobu vstřikování s elektronickým regulátorem a elektronické (Bauer et al., 2013). Mechanické regulátory jsou založeny na principu odstředivé síly závaží, které na základě nastavených otáček nastavuje řídicí tyč vstřikovacího čerpadla. Tato tyč je u druhého

zmíněného způsobu nastavována pomocí lineárního elektromagnetu řízeného elektronickou řídicí jednotkou. Tímto způsobem lze nastavovat také počátek vstřiku. Řídicí jednotka provádí výpočet dávky paliva a počátku vstřiku z naprogramovaného řídicího pole, snímačů na motoru a požadavků řidiče.

Poslední způsob regulace obstarávají elektronické regulátory, které se používají u systémů řízených elektromagnetickým ventilem. Elektromagnetický ventil uzavírá okruh a vzniká tak přetlak, který otevře vstřikovací trysku (radiální nebo axiální vstřikovací čerpadlo, systém čerpadlo-tryska nebo systém čerpadlo-vedení-tryska) nebo u systému s tlakovým zásobníkem common rail elektromagnetický

ventil otevírá vstřikovací trysku. Výpočet dávky paliva a počátku vstřiku je prováděn obdobně jako u předchozí varianty s tím rozdílem, že zde je možné rozdělit dávku paliva do několika samostatných částí, což zvyšuje účinnost motoru a snižuje emise, hlučnost apod. (Balluchi et al., 2007; Chang et al., 2014; Wang et al., 2014).

## Materiál a metody

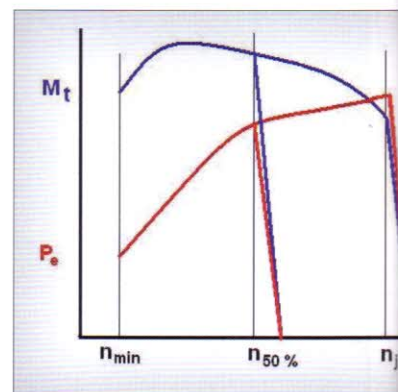
Cílem měření bylo zjistit regulační křivku vznětového spalovacího motoru traktoru Challenger MT775E se jmenovitém výkonem 298 kW ve dvou předvolených otáčkách.

Měření bylo provedeno v showroomu firmy Agromex, s. r. o., v Modleticích u Prahy. Pro měření byl použit pásový traktor Challenger MT775E (obr. 2). Základní údaje o motoru traktoru jsou uvedeny v tabulce.

Pro zatížení traktoru byla použita mobilní hydraulická výkonová brzda AW NEB 400 připojená na vývodový hřídel traktoru (PTO). Traktor s připojenou brzdou je znázorněn na obrázku 3. Brzda je omezena maximálním točivým

## Základní parametry motoru traktoru Challenger MT775E

Údaj	Jednotka	Hodnota
Typ motoru	–	AP98-4
Systém dodávky paliva	–	common rail
Zdvihový objem	l	9,8
Jmenovitý výkon	kW	298 @ 2100 ot/min
Maximální výkon	kW	322 @ 1900 ot/min
Maximální točivý moment	Nm	1921 @ 1500 ot/min
Otáčky PTO	1/min	1000
Převod PTO – motor	–	1,9802



Obr. 1 – Schematicky znázorněná vnější otáčková charakteristika spalovacího motoru s výkonnostním regulátorem (Hromádko et al., 2011)



Obr. 2 – Traktor Challenger MT775E

momentem, který je 2850 Nm. Maximální výkon při 1000 ot/min je tedy 298 kW. Vzhledem k výkonu motoru traktoru a převodovému poměru motor – PTO není tedy možné změřit celou vnější otáčkovou charakteristiku, ale pouze regulační křivky.

Zvolené otáčky, ve kterých probíhalo měření, byly nastaveny ovládací pákou na 1990 ot/min a 1600 ot/min. Při těchto otáčkách byl motor traktoru postupně zatěžován zvyšujícím se točivým momentem pomocí výkonové brzdy a byly zaznamenávány hodnoty otáček a točivého momentu až do maximálního přípustného točivého momentu výkonové brzdy.

## Výsledky

Na obrázku 4 jsou graficky znázorněny výsledky měření točivého momentu a výkonu při obou zvolených otáčkách. Hodnoty jsou přepočítány přes převodový poměr PTO – motor z PTO na hodnoty motoru. Dále je patrné, že regulační křivka při 1990 ot/min přibližně při výkonu 250 kW přechází na křivku vnější otáčkové charakteristiky. To může být způsobeno ztrátami v převodech mezi motorem a vývodovým hřídelem.

Dále jsou na obrázku 5 a 6 znázorněny jednotlivé regulační křivky při 1990 ot/min a při 1600 ot/min. Hodnoty jsou opět přepočítány z vývodového hřídele na hodnoty motoru. Jak je vidět z obrázků, obě křivky mají silnou lineární závislost, jak bylo možno očekávat. Dále je patrné, že při 1990 ot/min došlo při zvýšení točivého momentu k vnější otáčkové charakteristice k poklesu otáček přibližně o 1,7 %, při 1600 ot/min došlo

při zvýšení točivého momentu až na maximální přípustné zatížení dynamometru k poklesu otáček přibližně o 1,6 %.

## Závěr

Úkolem výkonnostního regulátoru je, bez ohledu na jeho princip, udržovat pokud možno konstantní nastavené otáčky až do maximálního zatížení. Z výsledků je patrné, že regulátor motoru AP98-4 udržuje v průběhu zatěžování otáčky v rozmezí přibližně 2 % od nastavené hodnoty. Dále si lze povšimnout, že při 1600 ot/min je regulační křivka strmější ve srovnání s křivkou při 1990 ot/min, což lze očekávat vzhledem k vyššímu maximálnímu točivému momentu v těchto otáčkách.

Ing. Jakub Čedík,  
Ing. Filip Rejthar,  
Ing. Radek Pražan, Ph.D.,  
VÚZT Praha

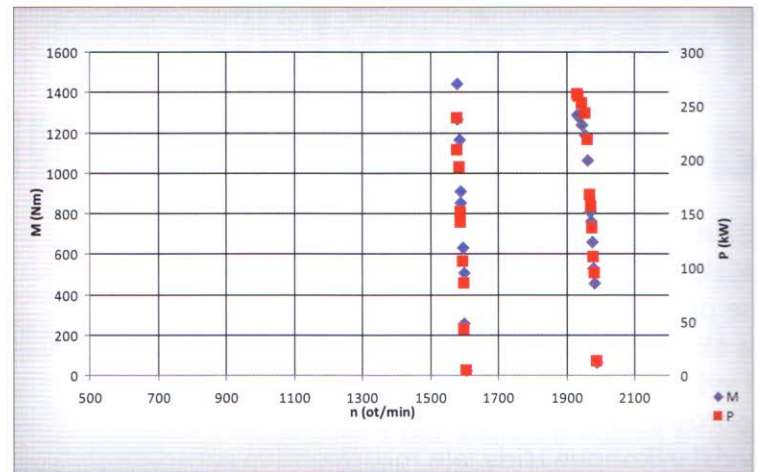
Článek vznikl v rámci institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj VÚZT, v. v. i., RO0614.

## Literatura

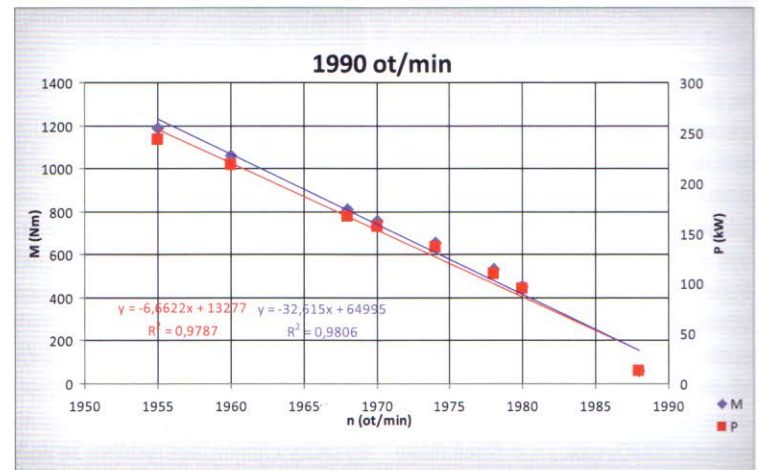
- BALLUCHI, A.; BICCHI, A.; MAZZI, E. et al.: Hybrid multi-rate control of the common-rail. In: 9th European Control Conference ECC, 2007, Kos, Greece, 54-61.
- BAUER, F. et al.: Traktory a jejich využití. Praha, Profi Press, 2013, 224 s.
- GOLVERK, A. A.: Tractor diesel engine performance under variable loading. In: SAE International Congress and Exposition, SAE Technical Papers, 1994, Detroit, United States.
- HROMÁDKO, J. et al.: Spalovací motory. Praha, Grada Publishing, 2011, 296 s.



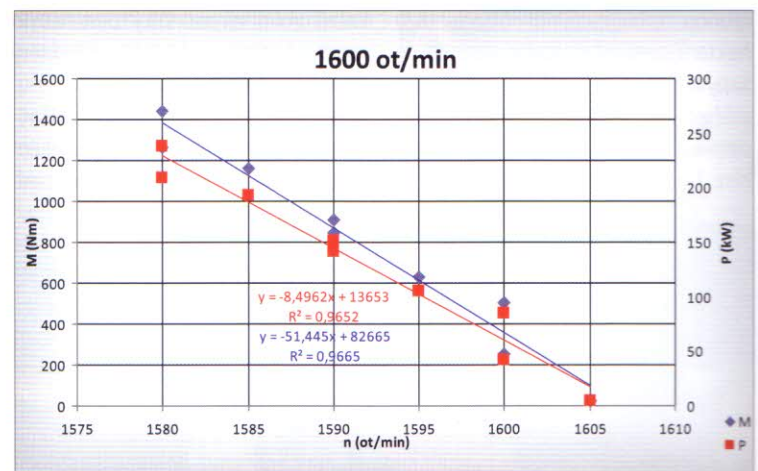
Obr. 3 – Traktor Challenger MT775E s připojenou výkonovou brzdou AW NEB 400



Obr. 4 – Regulační křivky při 1600 ot/min a 1990 ot/min



Obr. 5 – Regulační křivky točivého momentu a výkonu při 1990 ot/min



Obr. 6 – Regulační křivky točivého momentu a výkonu při 1600 ot/min

- CHANG, Y.; OU YANG, G.-Y.; LIU, Z.-M.: Research on intelligent actuation control technology of high-speed solenoid valve. Applied Mechanics and Materials, 2014, 678, 388-391
- JANULEVIČIUS, A.; JUOSTAS, A.; PUPINIS, G.: Engine performance during tractor operational period. Energy Conversion and Management, 2013, 68, 11-19
- LOUTRIDIS, S.; GIALAMAS, T.; GRAVALOS, I. et al.: A study on the effect of electronic

- engine speed regulator on agricultural tractor ride vibration behavior. Journal of Terramechanics, 2011, 48(2), 139-147
- WANG, Y. W.; DONG, D. W.; YAN, B.: Influence mechanism and law of sensor working clearance on instantaneous engine speed measurements. Transactions of Chinese Society for Internal Combustion Engines, 2014, 32(5), 466-473