

---

## AUTOMOTIVE SENSORS AND MEASURING THEIR SIGNALS

Kolářek S., Černý M.

Department of Engineering and Automobile Transport, Faculty of Agronomy, Mendel University, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: tornados@centrum.cz, michalc@mendelu.cz

---

### ABSTRACT

This experiment concerns with the problem of the sensors and their use for electronic systems in the vehicles. The importance and the amount of various types of the sensing units increase as the result of the spreading of electronics. Nowadays, the sensors are irreplaceable sensing organ for modern vehicles and can content more than 70 various sub units. The sensors are generally the first elements of the information flow into the operating system. It is required to bring into the system the minimum deviation or error. Implementation of new materials and the technology of large-scale production led to the miniaturization, increasing of the mechanical resistance thereby to higher authenticity of the sensors. This process results to the very high quality and accuracy of the sensing units. In the connection with the control units, they provide the cost-effective operation, the comfort and especially the safety.

**Key words:** sensors, signal, ABS, ASR, ESP, airbag, engine control unit

## ÚVOD

Na současná vozidla jsou kladeny vysoké požadavky. Aby tyto nároky mohly být po celou dobu užívání splněny, musí se do vozidel instalovat mnoho elektricky složitých komponent a součástí. K zajištění bezporuchového chodu se tyto systémy neustále řídí a monitorují ze signálů přijatých právě od senzorů. Snímače jsou tedy jakýmsi smyslovými orgány, které zachycují ze svého okolí mechanické a elektrické podněty a ty převádí signál. Tento signál je nejčastěji dále přiveden do řídicích jednotek a ty po vyhodnocení na něj reagují vhodným předdefinovaným způsobem. Dnešní konstruktéři se snaží, aby co nejvíce řízení vykonávaly za člověka právě snímače, touto cestou lze jednoduše zvýšit komfort a bezpečnost ve vozidle. Z hlediska komfortu nelze opomenout klimatizaci, elektrické nastavování a vyhřívání zrcátek, centrální zamykání. Bezpečnost je zvýšena systémy ASR, ESP, airbagy a také již běžně montovaným ABS. Toto je jen pouze okrajová část, která nás obklopuje. Mnoho důležitých snímačů se vyskytuje především kolem přípravy směsi, a příslušenstvím pohonného agregátu. Opakující se procesy spalování je potřeba neustále snímat a regulovat, aby byly dodrženy tzv. EURO limity a zmírnily se dopady na životní prostředí. Mechanickou cestou by toho nikdy nebylo dosaženo, a když, tak zcela ztěžka nebo s příliš dlouhou odevzou. Snímače moderních aut dovolují motorům pracovat s co nejlepší účinností, při co nejmenší možné spotřebě a vypouštění škodlivin, i přestože se zatížení agregátu prudce mění. Snímače jsou schopny vysílat signály do ŘJ s tak vysokou frekvencí, že řízený objekt se téměř okamžitě reguluje do daných optimálních podmínek. Kdyby dnes nebylo tak masově používáno těchto polovodičových elektrosoučástí, byl by to pro celý automobilový průmysl krok zpět. Nebylo by možno, tak jednoduchým a rychlým způsobem vyhodnocovat nebo diagnostikovat provozní závady jednotlivých systémů. Rovněž by nebylo možno uspokojit náročné požadavky zákazníka, které posunují vyspělost technologií a bezpečnost v automobilech na dnešní úroveň.

## MATERIÁL A METODIKA

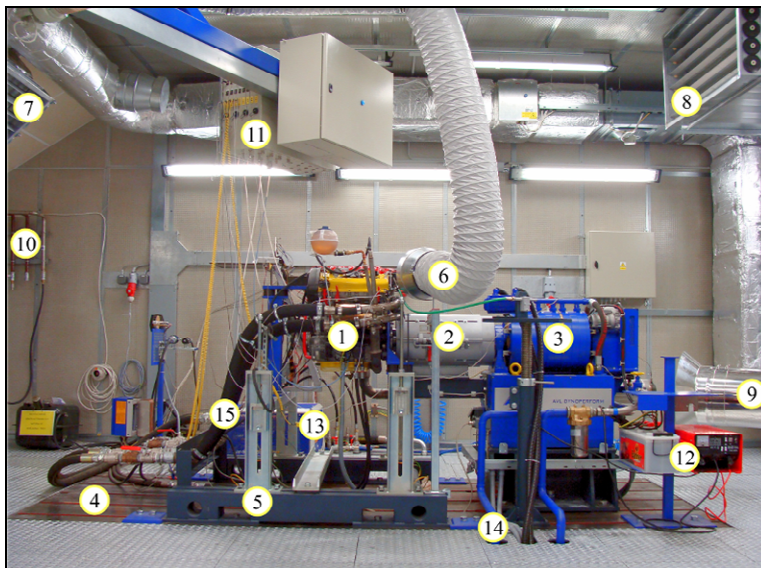
Experiment proběhl v laboratoři na MENDELU v Brně. Budova motorové zkušebny je nově vystavěna a disponuje špičkovým vybavením. Brzdové stanoviště s vířivým dynamometrem je dimenzováno na maximální brzdový výkon až 240 kW s 600 Nm. S tímto zařízením úzce souvisí další nezbytné systémy pro realizaci náročného měření:

- a. Vodní hospodářství vč. systému rozvodů chladicí vody.
- b. Palivové hospodářství vč. systému rozvodů paliv a maziv.
- c. Vzduchotechnika brzdového stanoviště vč. systému rozvodů vzduchotechnických kanálů.

- d. Potrubní systém odvodu spalin vč. ventilátoru s příkonem 75 kW pro odvod kouřových plynů.
- e. Rozvody tlakového vzduchu např. pro tlumení vibrací od motoru základní deskou.
- f. Systém řízení brzdového stanoviště a navazujících obslužných systémů vč. silového a řídicího rozvaděče a rozvodu kabelů.
- g. Systém řízení zkoušek motorů, tj. měření, sběr dat a vyhodnocování naměřených hodnot zkoušek spalovacích motorů vč. příslušného rozvaděče a kabelových rozvodů.
- h. Systém havarijní signalizace a zhášecí protipožární systém.
- i. Pracoviště techniků a příruční sklad k zajištění provozu brzdového stanoviště.
- j. Vytápění/ ventilace prostor s instalovanou technologií.

Tab. 1. Parametry zkoušeného motoru

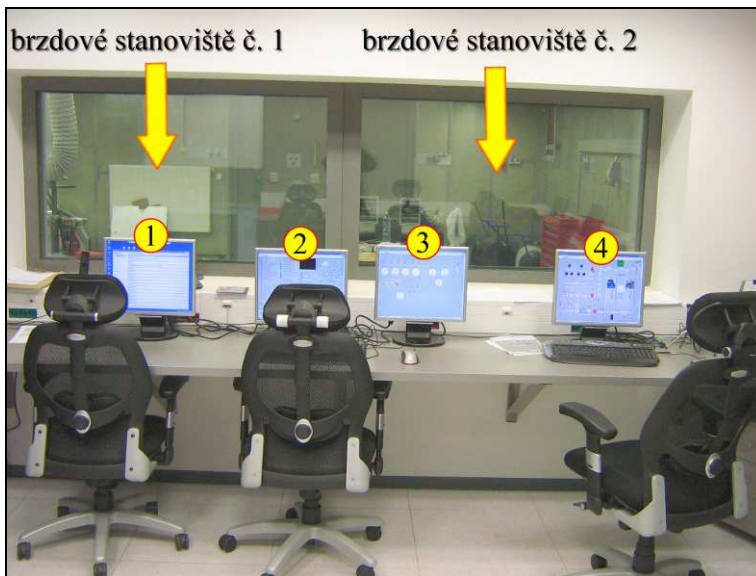
Typ	PRV6, zážehový
Výrobce	Peugeot
Počet válců	6
Počet ventilů	24
Uspořádání válců	do V
Úhel sevření válců	60 °
Vrtání	87 mm
Zdvih	82,6 mm
Zdvihový objem	$V_z=3,0 \text{ dm}^3$
Plnění	atmosférické
Kompresní poměr	10,9
Pořadí zapalování	1,6,3,5,2,4
Palivo	benzín Natural 95
Maximální výkon	147 kW



Obr. 1. Pohled na vnitřní prostor motorové zkušebny (MENDELU v Brně)

- |  |   |
|--|---|
| 1. zkoušený motor s příslušenstvím                           | 10. přívodní potrubí paliva   |
| 2. spojovací hřídel mezi motorem a dynamometrem včetně krytu | 11. box pro připojení snímačů   |
| 3. vířivý dynamometr   | 12. akumulátor a soustava pro nabíjení  |
| 4. odpružená základní deska (vzduchové měchy)                | 13. zařízení pro kondici chladicí vody (modrý výměník, umístěný vzadu za motorem, vedle pak výměník pro kondici motorového oleje) |
| 5. rám pro uchycení motoru                                   | 14. odvod chladicí vody z dynamometru   |
| 6. přívod spalovacího vzduchu                                | 15. chladicí okruh motoru   |
| 7. vyústění přiváděného vzduchu do kobky                     |   |
| 8. odvod vzduchu   |   |
| 9. odvod spalin  |   |

Na průběh zkoušení a řízení je dohlíženo pracovníky z vedlejší místnosti zvané velín. Tato místnost zajišťuje veškerý komfort obsluhy pro dlouhodobé zkoušení překračující někdy i 800 hodin. Pomocí výpočetní techniky je softwarově řízeno ovládání, sledování chodu a ukládání měřených parametrů motoru. Každý ze čtyř instalovaných monitorů má svoji specifickou funkci. Prvním je ovládána přes sériový port RS 232 řídicí jednotka motoru. Druhý řídí dynamometr včetně obslužného hospodářství. Na monitoru 3 se zobrazují měřená data např. teploty a tlaky. Poslední ovládá chlazení, vzduchotechniku apod. Následující obrázek zobrazuje prostor velínu.



Obr. 2. Pohled na velín

Vizualizace a parametrizace laboratorních úloh se provádí na průmyslovém počítači pracujícím pod operačním systémem W7 64 bit a také v programu LabVIEW 2010.

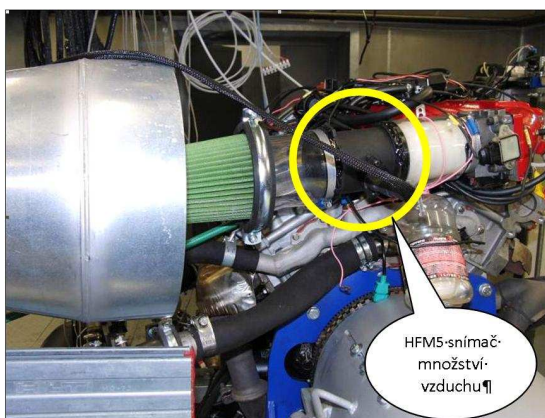
Pro splnění vysokých požadavků na měření bylo nutné zajistit také stálé napájení měřicího systému včetně jeho jištění a zálohování. Tuto funkci zastává elektrický rozvaděč se třemi spínanými zdroji 2x 24 V a 1x 5 V. U snímačů s nutným příívodem referenčního napětí např. u hmotnosti průtoku vzduchu, je napětí stabilizováno vlastní konstrukcí lineárních stabilizátorů. Kabeláž mezi rozvaděčem a jednotlivými spotřebiči je propojena pomocí WAGO spojek.

Měřicí a regulační systém běží na bázi systému od National Instruments s označením CompactRIO. Tento systém obsahuje nutný modul analogových vstupů s napětím v rozsahu 1-5 V, nezbytných právě pro měření objemové účinnosti. Celkem tak lze do něj zapojit osm napěťových a osm proudových vstupů pro měření dalších parametrů, např. spotřeby paliva.

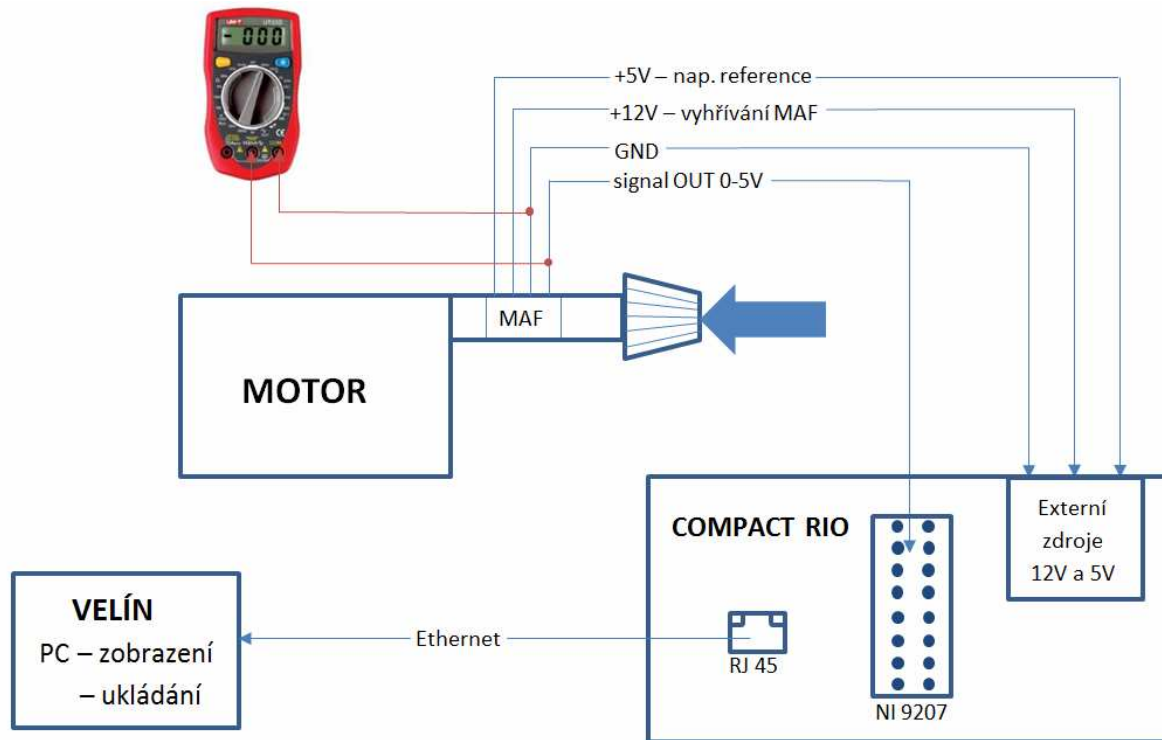
### Postup měření

Měření objemové účinnosti je založeno na měření průtoku vzduchu hmotnostním průtokoměrem vzduchu, který je integrován do systému v podobě snímače. Původní řízení motoru nebylo snímačem vybaveno, proto je realizován externě. Vnitřně je modul řešen tak, že jsou možné dva módy. Čistý mód ukazuje skutečný průběh nasávání vzduchu, ovšem u motoru instalovaného v laboratoři se vyskytuje problém s pulzacemi v sacím traktu (jedná se o motor s přímým sáním), proto je standardně zapnuto filtrování. Filtrace je provedena pomocí klouzavého průměru.

Při měření byla dodržena všechna kritéria pro korektní průběh zkoušky. K měření bylo použito snímače hmotnosti vzduchu s vyhřívaným filmem (HFMS5), který je umístěn v přímém potrubí sacího traktu. HFMS5 senzor je pro laboratorní měření nejvhodnější, protože díky velmi tenké mikromechanické membráně reaguje na změny do 15 ms. Elektronika je navržena tak, aby ŘJ jednotka motoru rozpoznala vadný snímač nebo poruchu třeba v rozpojení konektoru. Po kontrole všech součástí kabeláže a snímače se motor spustil. Motor byl uveden na provozní teplotu. Dynamometr přibrzdňoval motor na vybraných otáčkách po dobu 10s, během kterých se vždy naměřilo a vyhodnotilo 100 hodnot. Data byla čtena ze systému CompactRIO. Naměřené hodnoty byly zpracovány a použity pro grafické zobrazení závislosti napětí na průtoku vzduchu. V následujícím kroku byly porovnány s datasheetem výrobce snímače firmy Bosch. Z ostatních dat byla sestrojena otáčková charakteristika motoru a objemová účinnost motoru. Následující obrázky ukazují umístění snímače v sacím potrubí motoru a schéma zapojení MAFu při měření.

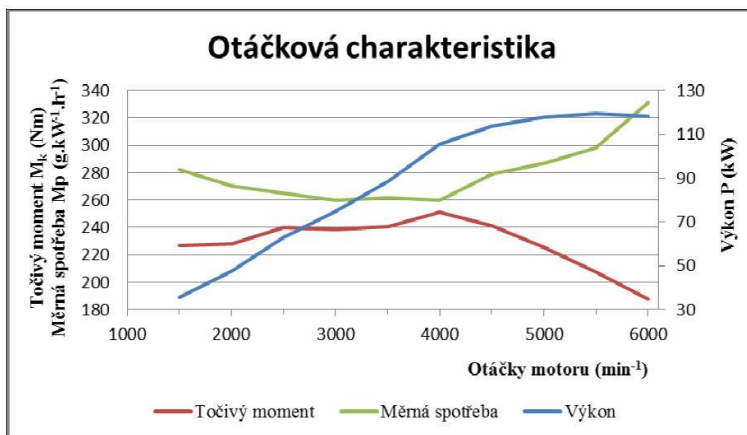


Obr. 3. Umístění snímače množství vzduchu na potrubí přímého sání



Obr. 4. Schéma měření MAFu na motorové zkušebně (Peugeot PRV6)

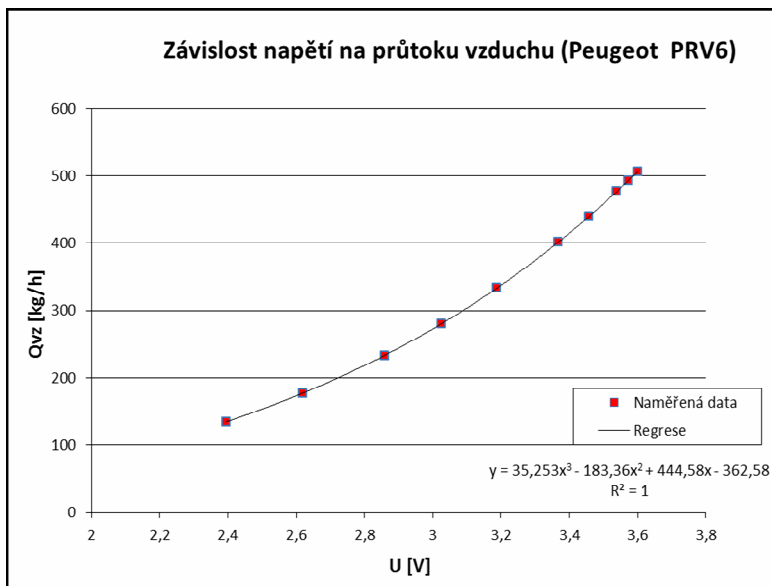
## VÝSLEDKY A DISKUZE



Graf 1. Otáčková charakteristika motoru Peugeot PRV6

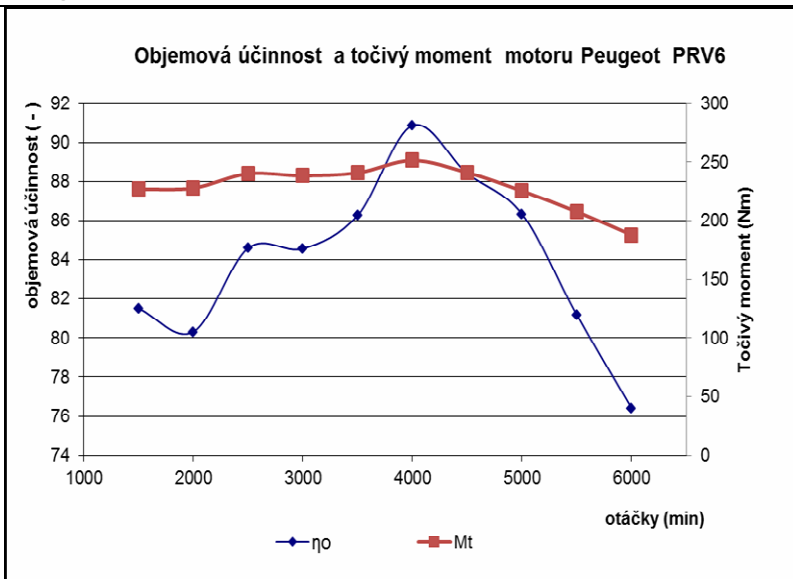
Graf 1. zobrazuje otáčkovou charakteristiku motoru Peugeot PRV6. Měření motoru bylo skokově navyšováno vždy o 500 otáček a rozsah byl stanoven na otáčky od 1500 – 6000 za minutu. Z naměřených hodnot byl do grafu vnesen točivý moment  $M_k$ , měrná spotřeba  $M_p$ , výkon  $P$  a otáčky motoru. Z grafu lze vyčíst, že nejvyššího točivého momentu asi 251 Nm motor dosahuje při 4000 otáčkách. Naopak nejnižšího momentu 187 Nm je dosaženo při 6000 otáčkách. Měrná spotřeba 259  $\text{g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  je nejnižší při 3000 otáčkách, těsně druhé místo nejnižší spotřeby zaujímá 260  $\text{g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  při 4000 otáčkách. Nejvyšší spotřeba 331  $\text{g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  je dosažena v 6000 otáčkách. Výkon motoru do 4000 otáček téměř konstantně narůstal, na rozdíl od otáček přesahující 4000, kde průběh již nebyl tak strmý. Nejvyššího výkonu 120 kW je dosaženo při 5500 otáčkách. Nejnižší výkon 36 kW je při 1500 otáčkách.





Graf 2. Závislost napětí na průtoku vzduchu (Peugeot PRV6)

Graf 2 vyjadřuje závislost napětí na průtoku vzduchu u měřeného motoru Peugeot PRV6 v motorové zkušebně. Při brzdění byla škrticí klapka otevřena stále na 55 %. Napětí se při měření pohybovalo od 2,4 V do 3,6 V a množství nasávaného vzduchu od 135 do 506 kg/h. Nejvyšší hodnota průtoku byla naměřena 506 kg/h, které odpovídá napětí 3,6 V a nejnižšímu průtoku 135 kg/h odpovídá napětí 2,4 V.



Graf 3. Objemová účinnost a točivý moment motoru Peugeot PRV6

Graf 3 popisuje průběh objemové účinnosti a točivého momentu při měření motoru Peugeot PRV6. Nejnižšího plnění 76,4 % je dosahováno při 6000 otáčkách s točivým momentem 187 Nm, naopak nejvyšší plnění 90,8 % je dosahováno při 4000 otáčkách, kde je zároveň nejvyšší točivý moment 251 Nm. Rovněž si lze povšimnout dvou citelných poklesů objemové účinnosti motoru a to při 2000 a 3000 otáčkách. Zde ve 2000 otáčkách bylo dosaženo objemové účinnosti 80,3 % a ve 3000 otáčkách byla objemová účinnost 84,5 %. Tento jev je zapříčiněn absencí rezonančního plnění, na rozdíl od sériově montovaného motoru do automobilu. Motor instalovaný ve zkušebně má z dřívější zástavby do jiné karosérie upravené sání na přímé. To dokazuje, že jakýkoliv svévolný zásah do konstrukce výrobce, byť i malý, nemusí vždy vést k lepším provozním parametrům.

## ZÁVĚR

Význam elektroniky v motorových vozidlech neustále roste. Stále více se vozidla vybavují systémy pro zlepšování pohonu, komfortu a bezpečnosti. Žádný systém se dnes neobejde bez snímače, který pro něj získává důležité informace ze svého okolí. Jejich signály se staly nepostradatelné pro všechny řídicí jednotky, které vykonávají mnoho řídicích a regulačních funkcí. Elektronické zpracovávání signálů poskytuje okamžité vyhodnocení a regulaci sledovaného objektu.

Nezadržitelný pokrok v nových technologiích a materiálech umožnil zlevnit výrobu snímačů natolik, že montáž elektronických systémů se stala zcela běžnou i pro levné automobily. Lze tak ve

všech automobilech najít systém ABS nebo alespoň jeden airbag. Pro dražší vozy se montují systémy inteligentních navigací, ESP, ASR, několikatízónové digitální klimatizace, parkovací asistenti apod. Proto dnes každé vozidlo musí nutně obsahovat několik snímačů.

Smyslem experimentu bylo vytvoření systému měření a ověření na vybraném snímači. K pokusu byl vybrán snímač hmotnosti nasávaného vzduchu s vyhřívaným filmem. Jeho činnost byla ověřena na motoru z osobního automobilu Peugeot 605. V pokusu se vytvořil koncept měření a sestrojil se graf závislosti napětí na průtoku vzduchu. Dále byla vytvořena otáčková charakteristika a objemová účinnost. Nejvyšší objemové účinnosti 90,8 % motor dosahuje při 4000 ot/min<sup>-1</sup> s nejvyšším točivým momentem 251 Nm. Z průběhu objemové účinnosti byly vyzorovány dva náhlé poklesy a to při 2000 a 3000 otáčkách. Tuto zhoršenou plnicí účinnost má na svědomí chybějící variabilní sání motoru. Motor původně pocházející z Peugeotu byl zastaven do vozu pro závody autokrosu. Tam již variabilní sání zástavbě překáželo a muselo být nahrazeno přímým sáním. Pouze z tohoto důvodu již plně nepracuje rezonanční plnění v celém rozsahu otáček, jak bylo nalaďeno výrobcem motoru, což měření potvrdilo.

## LITERATURA

- [1] JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav, Automobily 4 : Příslušenství. 2. aktualiz. vyd. Brno : Avid s.r.o., 2003. 223 s.
- [2] VLK, František. Elektronické systémy motorových vozidel 1, 1. vyd. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2002. 298 s. ISBN 80-238-7282-6
- [3] ŠTĚRBA, Pavel. Elektrotechnika motorových vozidel. 1. vyd. Brno : Computer Press a.s., 2008. 174 s.
- [4] VLK, František. Automobilová elektronika 1, Asistenční a informační systémy. 1. vyd. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2006. 269 s. ISBN 80-239-6462-3
- [5] MOTEJL, Vladimír, HOREJŠ, Karel. Učebnice pro řidiče a opraváře. 1. vyd. Brno : Littera, 1998. 504 s. ISBN 80-85763-00-1
- [6] VLK, František. Automobilová elektronika 2, Systémy řízení podvozku a komfortní systémy. 1. vyd. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2006. 308 s. ISBN 80-239-7062-3
- [7] BOSCH: Snímače v motorových vozidlech. Přel. T. Kampán. 1. vyd. Robert Bosch GmbH, 2001. 148 s. ISBN 80-903132-5-6
- [8] KONRAD, Reif. BOSCH: Sensoren im Kraftfahrzeug. 1. vyd. Robert Bosch GmbH, 2010. 176 s. ISBN 978-3-8348-1315-2