

MĚŘENÍ PROUDĚNÍ CHLADÍČÍ KAPALINY VE SPALOVACÍM MOTORU

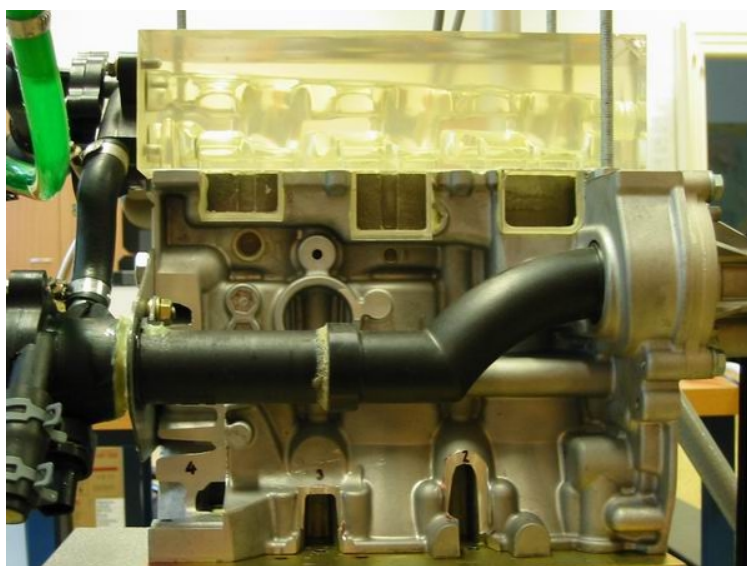
Pavel Zubík

Abstrakt

Použití bezkontaktní měřicí metody – rovinné laserové anemometrie (Particle Image Velocimetry - PIV) pro zjištění rozložení rychlosti proudění chladící kapaliny v dutinách uvnitř čtyřtakového spalovacího motoru.

1. Úvod

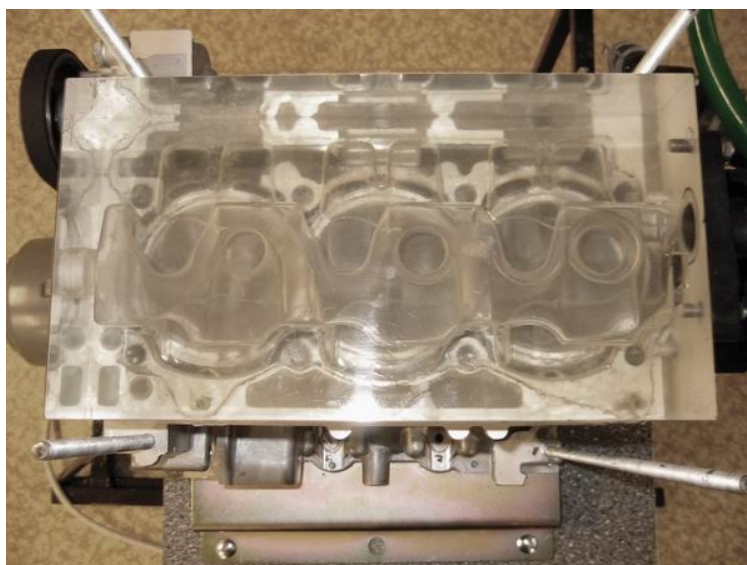
V roce 2000 pracovníci vývoje motorů firmy ŠKODA AUTO a. s. v Mladé Boleslavi projevíli zájem o měření rozložení rychlostí chladící kapaliny uvnitř hlavy a bloku nového motoru pro osobní automobil, jehož vývoj právě probíhal. Po několika podrobných konzultacích o požadavcích výzkumu a možnostech bezkontaktních laserových měřicích metod bylo rozhodnuto o zhotovení modelu hlavy motoru z průhledného materiálu a vytvoření sady průzorů do bloku motoru (obr. 1 a 2). Na jaře roku 2001 bylo v několika etapách provedeno rozsáhlé měření proudových poměrů.



Obr. 1 Upravený blok motoru s průhlednou hlavou

2. Použitá měřicí metoda a zařízení

Souprava FlowMap firmy Dantec pro rovinnou laserovou anemometrii (PIV), která je v majetku VUT v Brně. Toto zařízení je schopno měřit rozložení rychlosti v dvourozměrném řezu proudící tekutinou. Podrobnější popis metody je v [1] a [2]. Souprava sestávala z argonového laseru o výkonu 5 W, optických prvků pro vytváření laserové světelné roviny, speciální digitální kamery, vyhodnocovacího procesoru a počítače třídy PC.



Obr. 2 Průhledný model hlavy motoru

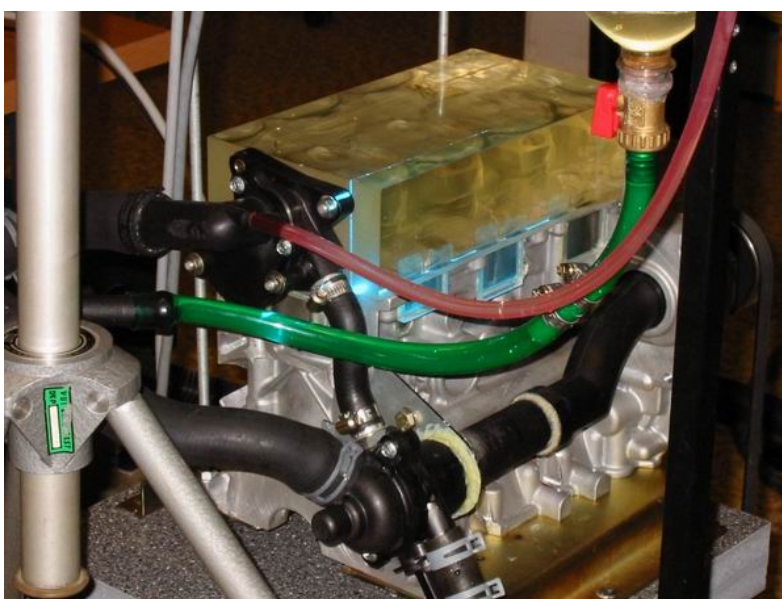
3. Problematika rozdílných indexů lomu

Vzhledem k značné složitosti tvarů vnitřních dutin v hlavě motoru bylo velmi žádoucí co nejvíce minimalizovat (v ideálním případě odstranit) rozdílné indexy lomu materiálu modelu a měřené kapaliny. Běžně používaná voda se svým indexem lomu o hodnotě přibližně 1,33 se příliš liší od hodnoty indexu lomu

průhledných plastů (většinou v rozpětí 1,5 až 1,6). V [3] je uvedeno mnoho různých kapalin a jejich indexů lomu. Pro následující zkoušky byl na základě dostupnosti a ceny zvolen omezený rozsah kapalin. V době výroby modelu byly provedeny zkoušky se vzorkem materiálu, jenž byl zvolen pro výrobu modelu, a sadou dostupných kapalin a roztoků. Zkoušky spočívaly v měření úhlu ohybu laserového svazku po průchodu rozhraním průhledná stěna - kapalina. Z uhlovodíkových kapalin - aceton, syntetické ředidlo, petrolej, terpentýn - posledně jmenovaný vykazoval index lomu nejvíce se přibližující k danému plastu. Použití různých olejů, které by podle literatury mohlo být opticky výhodné bylo odmítnuto pro příliš velký rozdíl viskozity od vody. Právě z hlediska viskozity byly pro zkoušky zvoleny také roztoky jodidů ve vodě. Nejlevnější jodid draselný se bohužel ukázal jako zcela neefektivní. Přibližně dvojnásobně nákladný jodid sodný



Obr. 3 Celkový pohled na měřenou sestavu



Obr. 4 Osvětlování měrné roviny v bloku motoru

již přinášel znatelné zlepšení indexu lomu. Dle [3] podstatně efektivnější jodid zinečnatý nebyl pro svou vysokou cenu (přibližně 12 krát vyšší než u jodidu sodného) do zkoušek zařazen. Závěrem zbylo rozhodnutí volby mezi terpentýnem (nejmenší rozdíl indexu lomu od materiálu modelu) a roztokem jodidu sodného ve vodě (snadné odstranění z dutin modelu - pouhým propláchnutím čistou vodou; závislost indexu lomu na koncentraci roztoku). Byl zvolen roztok jodidu sodného v koncentraci 1 kg/l.

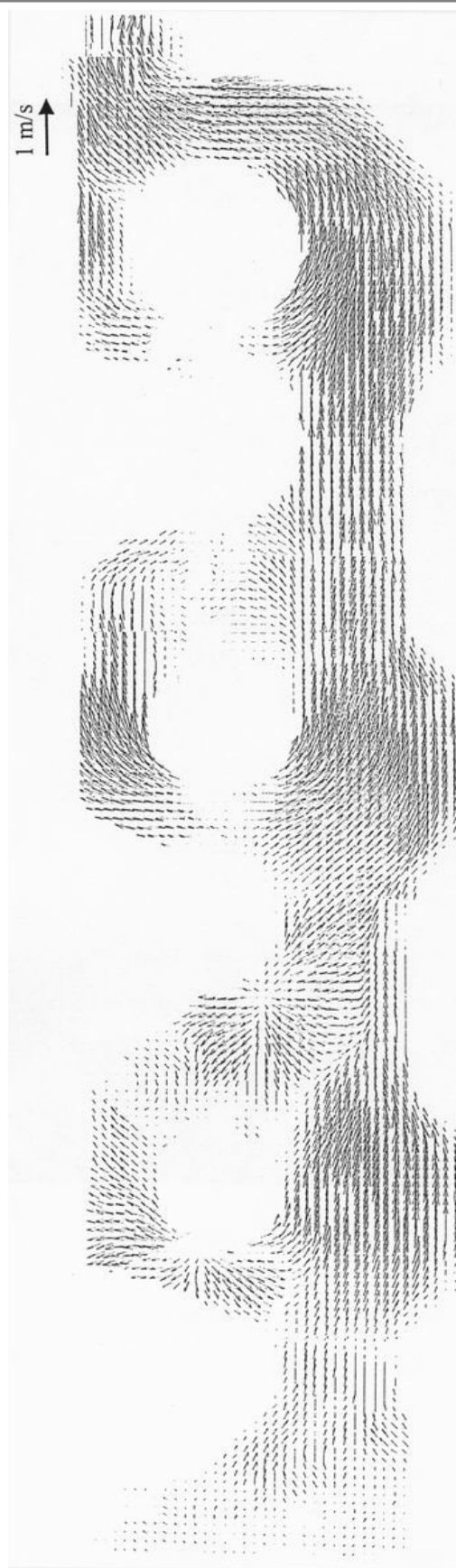
4. Průběh měření

Upravený blok motoru s průhlednou hlavou a zkráceným oběhem chladicí kapaliny byl připojen k pohonu (frekvenčním měničem regulovaným) asynchronním motorem (obr. 3). Do vodní náplně byly kromě již zmíněného jodidu sodného přidány také z principu metody nutné odrazné částice (střední velikosti 50 μm).

Optická soustava vytvářející laserovou světelnou rovinu a záznamová kamera byly postupně ustavovány do šedesátitří měrných míst, příklad je na obr. 4. Z důvodů obtížné optické přístupnosti bylo nutno jednotlivé řezy celou hlavou měřit po menších částech. Rovinná laserová anemometrie je bezkontaktní optická metoda vyžadující velké a kvalitní optické vstupy. Připravený model splňoval tuto podmínku ve svých různých částech více nebo méně omezeně, proto bylo nutno hledat pro každou dílčí část nejvhodnější kombinaci směru osvětlování a snímání obrazu unášených částic. Například celkový obraz vektorového pole proudění v rovině pod stropem horní dutiny v hlavě (obr. 5) je vytvořen složením výsledků z šesti překrývajících se oblastí.

V každém měrném místě bylo provedeno 10 až 20 měření okamžitých stavů sledovaného rychlostního pole, vše při stejných otáčkách čerpadla. Pouze ve dvou místech bylo pro ověření automodelovosti proudění provedeno měření při třech různých průtocích.

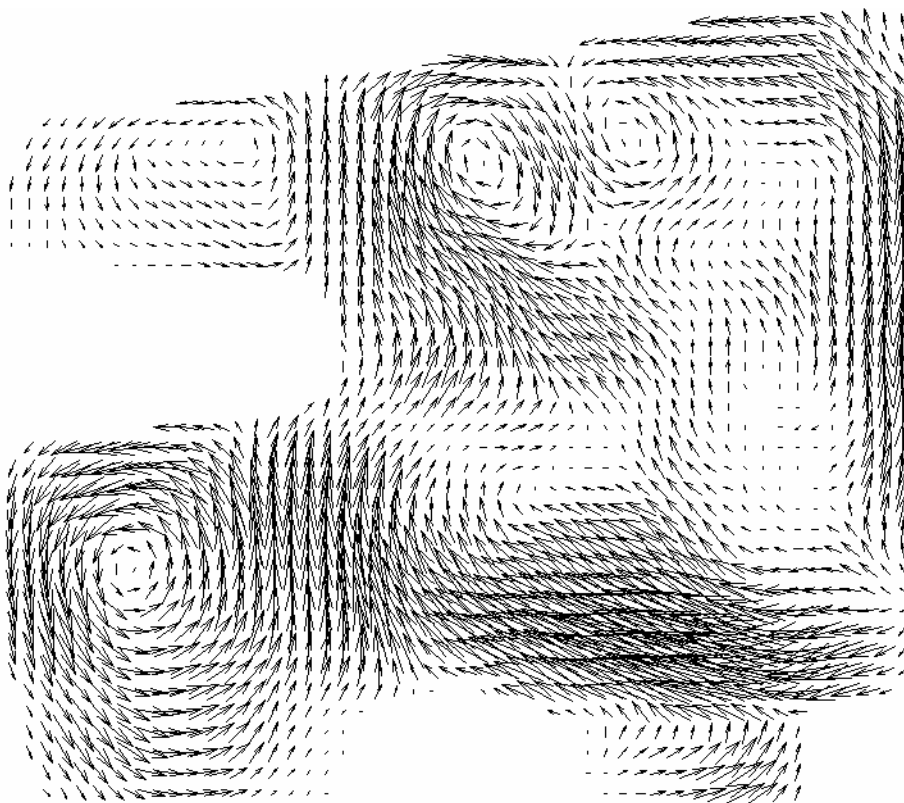
Z vyhodnocených sérii okamžitých stavů byl statistickým zpracováním získán jeden časově střední obraz daného měřeného rychlostního pole. Uvedené grafické výstupy (obr. 5 a 6) jsou časově střední obrazy rychlostního pole.



Obr. 5: Rozložení vektorů rychlosti ve vodorovném řezu hlavou motoru

Závěr

Při prohlížení získaných vektorových polí je nutno mít na mysli vlastnost použité měřicí metody - z vektorů protínajících světelnou rovinu je vyhodnocen a zobrazen pouze jeho průmět do této roviny. To znamená, že i poměrně velký vektor rychlosti se směrem téměř kolmým k měrné rovině je zobrazen obdobně jako vektor velmi malé rychlosti ležící v rovině měření. Zda se jedná o první nebo druhý



Obr. 6: Rozložení vektorů rychlosti ve svislém řezu hlavou motoru

případ, lze většinou rozpoznat z charakteru daného pole. Někdy je třeba využít kombinace informací z různých řezů, případně subjektivní pozorování celého děje z několika směrů.

V současné době je měřicí komplet PIV na pracovišti VUT v Brně již vybaven pulzním laserem což posunulo omezení maximální měřitelné rychlosti z přibližně 2 m/s na hodnotu 10 až 40 krát vyšší.

V době krátce po ukončení zde popisovaného měření nebylo možno na přání objednatele, vzhledem k teprve připravované výrobě motoru, zveřejňovat jakékoliv informace. V současnosti již probíhá sériová výroba tohoto nového tříválcového motoru pro potřebu celého koncernu WV.

Literatura

- [1] DANTEC: FlowMap - Installation & User's guide, 1997, s. 4-1 – 4-102.
- [2] Zubík P.: Integrovaná laserová anemometrie. [teze disertační práce]. Brno 2001. ISBN 80-214-1965-2
- [3] Budwig R.: Refractive index matching methods for liquid flow investigations. Experiments in Fluids 1994, č. 17, s. 350 - 355.