

## VISUALIZATION METHODS IN DEVELOPMENTS OF POWER AXISYMMETRIC NOZZLE

**K. Peszyński\***

**Summary:** *In this paper research results of axi-symmetric, actively controlled fluidic nozzle are presented. Jet visualization was performed in a horizontal plane passing through the nozzle symmetry axis by means of smoke-wire visualization technique, when “a smoke” (in fact an aerosol) is generated on a resistance wire. The wire was located perpendicular to the nozzle axis. There have also been presented results obtained using the method of dynamic visualization, PIV method, and visualization of the nozzle thermodynamic properties.*

### 1. Úvod

V práci jsou uvedeny výsledky vizualizace proudového pole během vývoje osově symetrické výkonové trysky pro ohřev nebo chlazení netypických stěn a součástí. Pro základní vizualizaci proudového pole se používalo zároveň statickou jak i dynamickou kouřovou metodu zviditelňování proudu. Během dalšího výzkumu byla použita modernější vizualizační metoda PIV poskytující komplexní prostorové informace o rychlostním poli v daném čase. Poskytuje nejen kvalitativní obraz proudění, ale také kvantitativní informace o rychlostním poli. Termické vlastnosti trysky se zkoumalo pomocí termického scanneru. Ohřátý proud vzduchu vytékající z trysky dopadal na stěnu z umělé hmoty. Na druhé straně stěny byl umístěn termický scanner.

### 2. Statická kouřová vizualizace

Vývoj geometrie trysky se opírá jednak o experimentální výzkum a jednak o numerickou simulaci proudu. Jak bývá obvyklé v podobných případech, úvodní kvalitativní přístup k vyšetřování proudění vychází ze zviditelňování – vizualizace proudění, např. Řezníček, 1972.

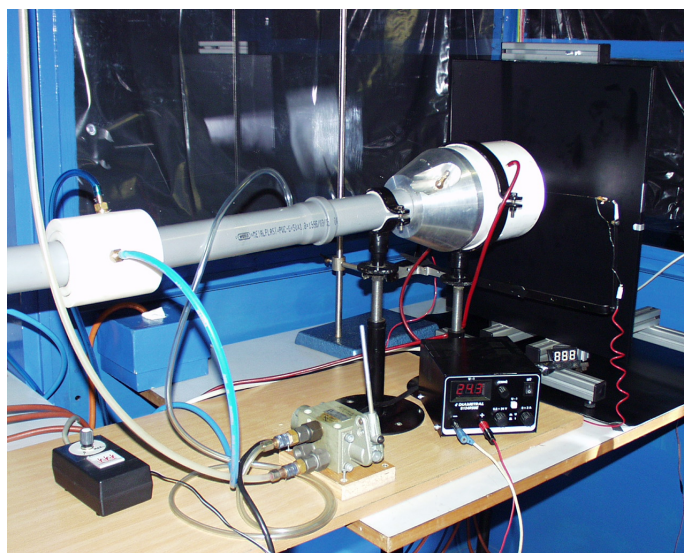
Velmi jednoduchý vizualizační přístup je metoda kouřícího drátu, která je známa a praktikována již řadu desítek roků – viz Corke a kol., 1977; Mueller, 1989; Fleischer a kol., 2001; Trávníček, 2002. Tenký odporový drát (případně soustava drátů) o průměru 0,1 mm je napnut v proudovém poli a je potřen kapalinou, obvykle parafinovým olejem, popř. vodní roztokem či emulzí. Drát je elektricky ohříván a kapalina se teplem odpařuje. Páry vzápětí kondenzují v proudovém poli chladnějšího vzduchu na drobné kapičky, jejichž průměr bývá řádově 1  $\mu\text{m}$  (Mueller, 1989). Bílá mlha je potom unášena proudícím vzduchem a je

---

\* Asistant prof. Ing. Kazimierz Peszyński, CSc, Department of Control and Machinery Design, University of Technology and Life Sciences, ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, phone +48 52 340 8248, fax + 48 52 340 82 45, e-mail: kazimierz.peszynski@mail.utp.edu.pl

fotograficky registrována. Je žádoucí, aby záznam byl kontrastní a proto používáme při fotografování černé pozadí záznamu.

Poznamenejme, že označení „kouřová vizualizace“ má původ v minulosti, kdy se k vizualizaci používalo skutečného kouře (např. vyráběného spalováním sekvojového dřeva). Označení tedy nevystihuje přesně podstatu bílých par oleje, nicméně jeho použití je dnes již natolik rozšířené, že je běžné psát jej i bez uvozovek.



Obr. 1 Fotografie uspořádání vizualizace proudového pole (laboratoř Ústavu termomechaniky Akademie věd České republiky, Praha, pracoviště Nový Knín)

K osvětlení proudového pole používáme 3 různé světelné zdroje:

- Kontinuální (žárovkový) světelný zdroj, který je vybaven objektivem soustředujícím světlo do měřícího prostoru. Použitím získáváme časově středované *trajektorie částic* (anglicky *pathlines*).

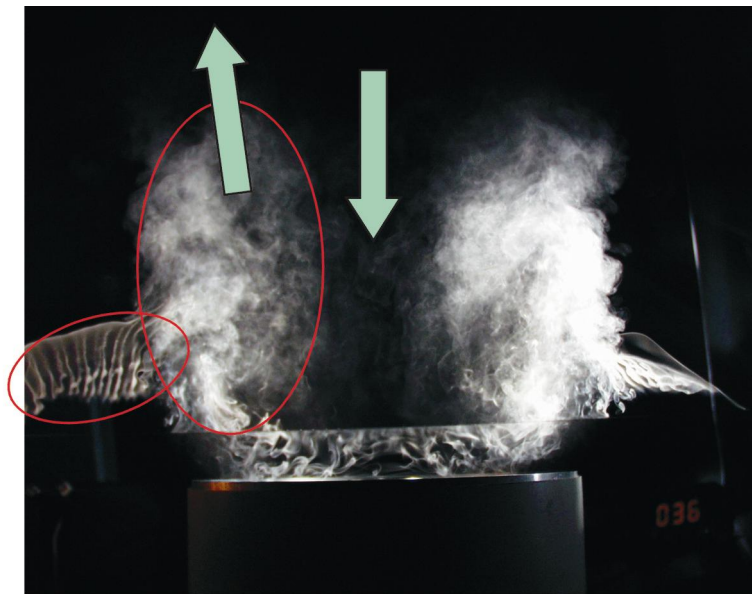


Obr. 2 Vizualizace volného výtoku z trysky ve stavu 1 metodou kouřícího drátu

- Fotografický blesk, rovněž vybavený objektivem soustředujícím záblesk do měřicího prostoru. Výsledkem vizualizace jsou *emisní čáry* proudového pole (jiným názvem *průběžné čáry*, anglicky *streaklines*).
- Stroboskopické osvětlení, které se užívá při periodických dějích (byl použit stroboskop Cole Parmer 87002). Při synchronizaci světelných záblesků s periodickým dějem dochází k *fázově vázané vizualizaci* (anglicky *phase-locked flow visualization*); získáváme pak tzv. *fázově vázané emisní čáry*. Zvláště výhodné je použití multiexpozice, která potlačí nahodilé poruchy (jednorázové děje, které se neopakují), a dochází tak k lepšímu zvýraznění podstaty zvolené fáze periodického proudového pole.

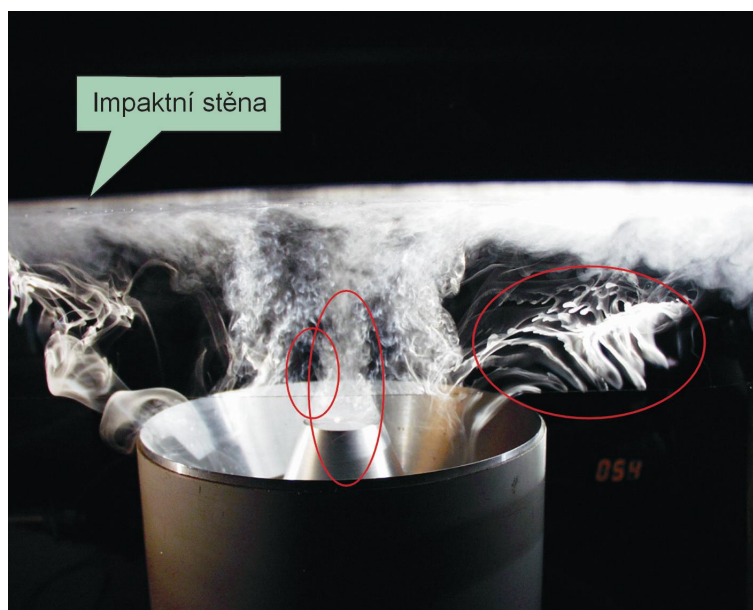
K fotografování byl použit digitální fotoaparát Olympus C-2500L Camedia.

Na obr. 2 je vizualizován výtok z trysky ve stavu 1. Tryska je ve spodní části obrázku, proud vytéká z trysky svisle vzhůru střední rychlostí 4.4 m/s. Kouřící drát je patrný jako vodorovná linie nad tryskou rovnoběžná s jejím ústím. Kouř je zřejmě pouze nad ním. Je proto patrné, že vytékající proud se pohybuje vzhůru v blízkém okolí osy. Výtok je zřejmě turbulentní.



Obr. 3 Vizualizace volného výtoku z trysky metodou dýmajícího drátu ve stavu 2

Obr. 3 navazuje na obr. 2 a je obrazem proudu ve stavu 2. Účinkem řídicího proudu vytékající proud diverguje do větší oblasti a rychlost proto klesá. Kouřící drát je patrný jako vodorovná linie nad tryskou rovnoběžná s jejím ústím. Ve větší červené bublině je vyznačen turbulentní vzduch stoupající vzhůru. Vzestupný směr proudu prokázaly nezávisle též použité „praporky“ (nejsou na obrázku patrné). „Praporky“ ve střední části naopak ukazují na pohyb vzduchu směrem dolů (absence par), pod drátem se však páry již vyskytují všude. Patrně tak je ve střední části recirkulační oblast. Menší bublina vpravo má zřejmě uspořádanější vrstevnou strukturu. Jedná se o laminárně přisávaný vzduch směrem ke trysce.



Obr. 4 Vizualizace impaktního proudu ve stavu 1

Na obr. 4 je zviditelňován proud vzduchu dopadající za tryskou ve stavu 1 na stěnu. Vodorovný drát je patrný nad středním tělesem. Nad tryskou je vidět impaktní stěnu, proto osa objektivu fotoaparátu nemůže být kolmá na osovou rovinu trysky a ústí trysky je zabráněno z „nadhledu“. Stopy par ukazují na zajímavou topologii proudu. Proud za ústím trysky směřuje k ose nad středním tělesem a pak je impaktní stěnou nucen změnit směr podél stěny od osy. Bublina podél osy vyznačují vírovou strukturu úplavu za středním kuželovým tělesem. Bublina vpravo odpovídá laminárnímu přisávání okolnímu vzduchu k ústí trysky.



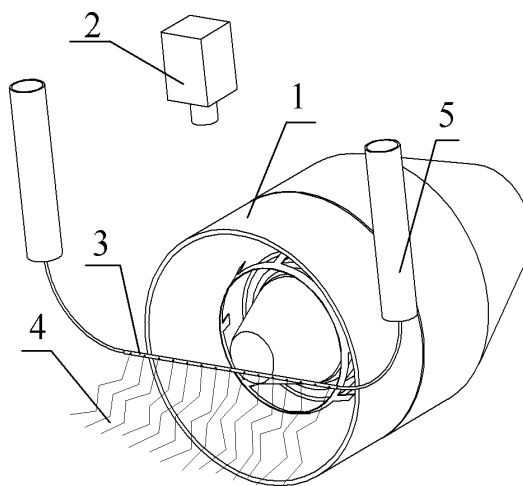
Obr. 5 Vizualizace impaktního proudu ve stavu 2

Na obr. 5 je zviditelňován proud vzduchu dopadající za tryskou ve stavu 2 na stěnu. Vodorovný drát je patrný nad středním tělesem. Nad tryskou je vidět impaktní stěnu, proto osa objektivu fotoaparátu nemůže být kolmá na osovou rovinu trysky a ústí trysky je zabráněno z „nadhledu“. Páry jsou nyní v okrajové oblasti (vnější stěna) vytékajícího proudu. Větší část

proudu dopadajícího na desku se pohybuje podél desky směrem od osy trysky avšak menší část proudu u desky se pohybuje také směrem k ose a poté podél osy se vrací k ústí trysky, čímž zřejmě opět vytváří recirkulační oblast, na kterou upozorňuje červená bublina.

### 3. Dynamická kouřová vizualizace proudu

V odstavci 2 je popsána metoda vizualizace průtoku v proudových polích. Do proudového pole, kolmo k ose trysky, se umístil tenký drát potřený parafinovým olejem. Posléze se vyhříval elektrickým proudem, objevily se olejové páry a byla zhotovena jejich fotografie. Procedura je experimentálně značně náročná, protože je obtížné exponovat fotografii ve správném okamžiku. Vizualizační efekt kouřícího drátu je totiž pouze krátkodobý (často jen několik desetin sekundy). Malé množství parafinového oleje, které je na drátě se dosti rychle odpaří takže experiment je značně časově omezen. Proto byla vyvinutá originální modifikace metody [Peszyński K., Wawrzyniak S., 2003], která dovoluje vizualici průtokových jevů výrazně prodloužit a umožňuje tak dokonce snímat delší expoziční sekvence.



Obr. 6 Schema uspořádání při dynamické, kontinuální vizualizaci průtoku vzduchu v proudovém poli:  
1 – tryska, 2 – filmová kamera, 3 – vyhřívaná trubka, 4 – páry parafinového oleje,  
5 – nádržka s parafinovým olejem

Obrázek 6 ukazuje princip originálního způsobu vizualizace navrženého autorem. Drát byl nahrazen tenkou trubkou opatřenou otvory. Osvědčila se trubka o průměru 0,8 mm, s otvory o průměru 0,1 mm a rozteči otvorů 10 mm. Trubkou je protažen knot (bavlněná šňůra), který je sycen parafinovým olejem. Vhodně volená intenzita sycení knotu zároveň brání nežádoucímu úniku oleje vykapáváním. Trubka je opět elektricky vyhřívána Joulovým teplem. Olej je tak z knotu odpařován. Bílé páry vystupují z otvorů trubky ven do proudící tekutiny a jsou jí strhávány. Digitální filmovou kamerou jsou proudem unášené páry kontinuálně snímány. Tak dochází k zviditelnění rychlostního pole proudu, které není omezené na krátký časový interval.

Výsledky vizualizace při vyšetřování topologie proudu u stěny, na kterou proud dopadal.

#### *Parametry měření*

Základní měření se provádělo s proudem vzduchu výstupujícího z trysky. Proud dopadal na stěnu umístěnou za tryskou v různých vzdálenostech a pod různými úhly. Bylo třeba zabezpečit optimální podmínky pro expozici záznamu (kontrast apod.). Proto byla použita

skleněná stěna opatřena nalepenou černou folií, uprostřed které byla štěrbinou o šířce 3mm. Využíval se světelný zdroj ze zpětného projektoru, který byl umístěn za štěrbinou ve stěně a poskytoval přímé a rovnoměrné osvětlení celé šířky vyšetřovaného prostoru.

Měření se provádělo se při následujících parametrech: vstupní rychlost proudu v napájecí trubici  $v = 3 \text{ m/s}$ , odpovídající objemový tok  $Q_m = 0,004985 \text{ m}^3/\text{s}$ , objemový tok řídicího proudu  $Q_c = 0,000833 \text{ m}^3/\text{s}$ , úhly nastavení stěn, sevřené kolmicí ke stěně a osou symetrie trysky byly  $\alpha = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ . Měnila se také vzdálenost stěny od konce trysky (měřená podél osy symetrie trysky), byly zvoleny následující měřicí polohy:  $x = 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250 \text{ mm}$ . Hodnoty volených proměnných a jejich kombinace jsou uvedeny přehledně v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1. Souhrn úhlových parametrů a vzdálenosti trysky od stěny

		Vzdálenost stěny $x$ [mm]									
		25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
Úhel $\alpha$ [°]	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	15			X	X	X	X	X	X	X	X
	30					X	X	X	X	X	X

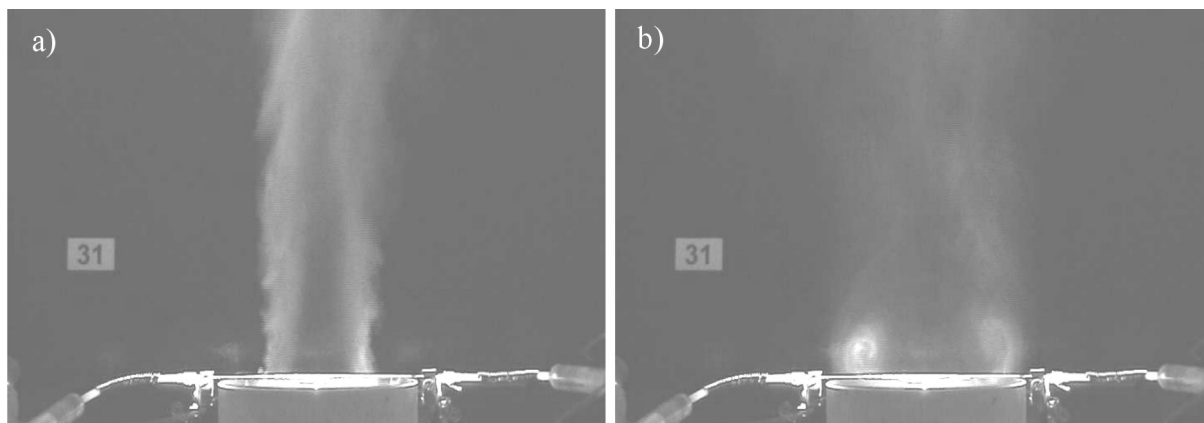
Údaje v tabulce 4.1 uvádějí, pro jaké úhly a v jakých vzdálenostech od stěny se měření prováděla. Buňky označené písmenem X odpovídají kombinaci vstupních hodnot, pro které se měření prováděla. V oblasti orámovaných buněk ale měření nebyla realizovatelná.

Po provedení měření zaznamenané výsledky byly přeneseny do počítače PC, ve kterém se provádělo jejich vyhodnocení a vyšetřovala se závislost na volených parametrech (vzdálenosti a úhlu sklonu stěny).

#### Výsledky měření

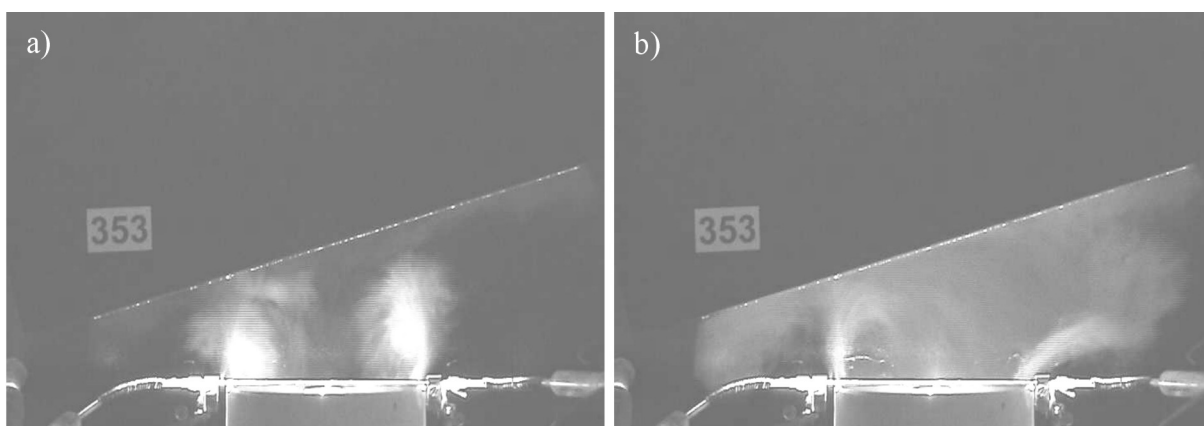
Výsledkem experimentu byl film. Není možno úplně analyzovat všechny získané údaje zaregistrované na filmu. Proto jsou dále uvedeny pouze vybrané expozice.

Lze tak posoudit chování proudu vystupujícího z trysky a dopadajícího na stěnu umístěnou za tryskou. Zvláště zajímavým se jeví prstencový vír, který vznikl ve stavu 2.



Obr. 7 Expozice volně vytékajícího proudu (bez stěny): a) stav 1, b) stav 2

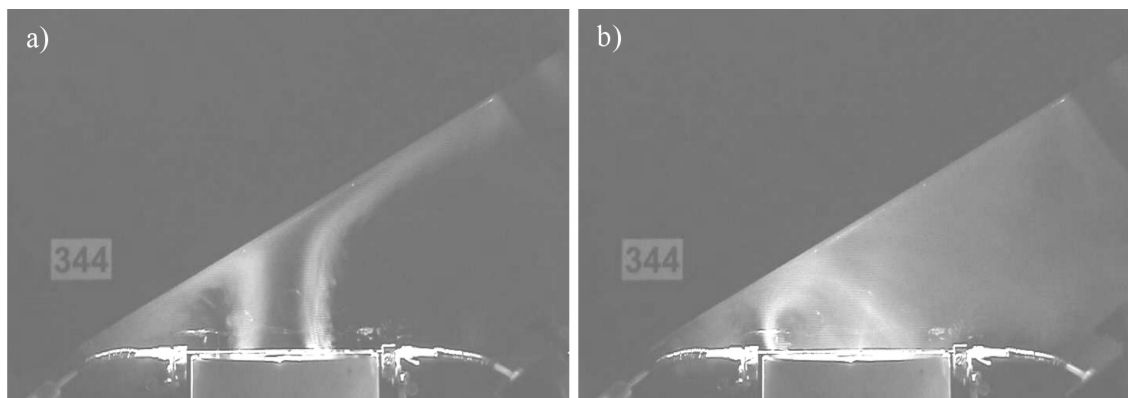
Na obr. 7 je záběr dynamického zviditelnění volně vytékajícího proudu vzduchu z trysky. Nad ústím trysky ve spodní části obrázku je vidět trubičku s otvory a knotem – zdroj olejových par. Vlevo je patrný vizualizovaný proud přilehlý ve stavu 1 k osové oblasti, vpravo je vizualizovaný proud ve stavu 2 vystupující z trysky v periferní oblasti a vytvářející za tryskou vírovou oblast. Jedná se o prstencový vír vyvolávající recirkulaci v osové oblasti za tryskou.



Obr. 8 Expozice vytékajícího proudu z trysky ve stavu 2 dopadajícího na skloněnou stěnu. Osová vzdálenost stěny od ústí trysky  $x = 100 \text{ mm}$ , úhel stěny  $\alpha = 15^\circ$  a) stav 2 bezprostředně po překlopení trysky, b) ustálený režim stavu 2

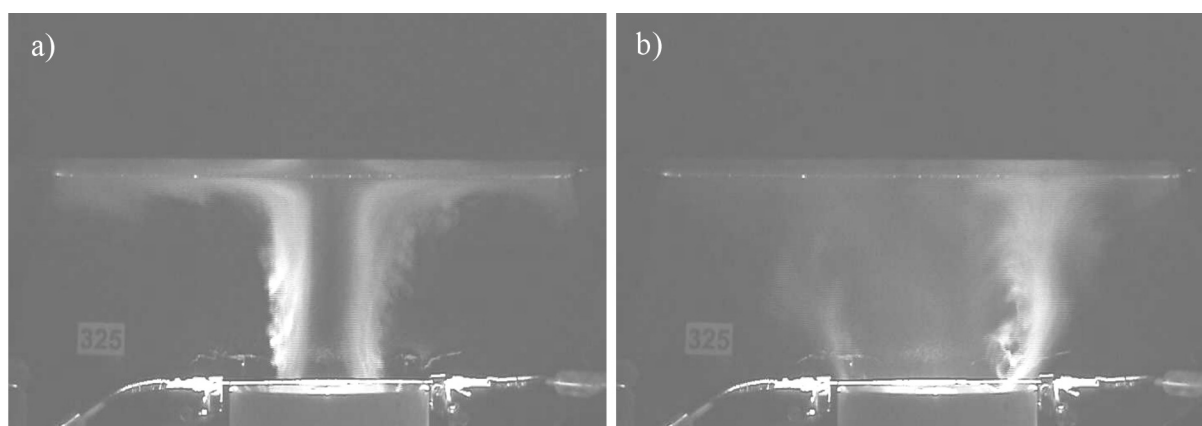
Na obr 8. je záběr dynamického zviditelnění proudu vzduchu z trysky ve stavu 2 dopadajícího na skloněnou stěnu. Nad ústím trysky ve spodní části obrázku je patrný zdroj olejových par. Vlevo je vizualizovaný proud v přechodovém režimu – bezprostředně po překlopení ze stavu 1 do stavu 2, vpravo pak ustálený režim stavu 2. V přechodovém režimu vlevo je patrná intenzivnější turbulizace výtokové oblasti. Zřejmě soustředění vírových pohybů blíže ose je reminiscencí na předchozí stav 1.

Tato expozice zřetelně demonstruje vyšší dimenzi metody dynamické kouřové vizualizace. Statickou kouřovou metodou by tento přechodový jev nebylo možno zkoumat.



Obr. 9 Expozice vytékajícího proudu z trysky dopadajícího na skloněnou stěnu. Osová vzdálenost stěny od ústí trysky  $x = 125 \text{ mm}$ , úhel stěny  $\alpha = 30^\circ$  a) stav 1, b) stav 2

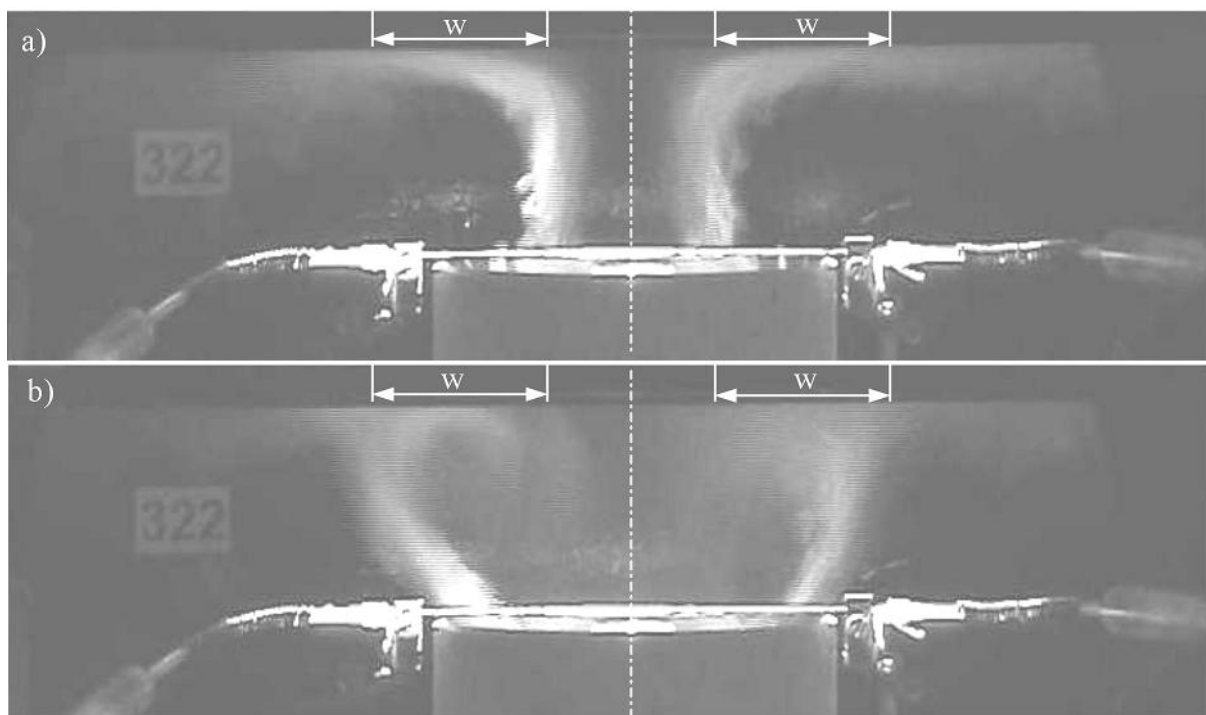
Na obr. 9 je záběr dynamického zviditelnění proudu vzduchu z trysky dopadajícího na skloněnou stěnu. Nad ústím trysky ve spodní části obrázku je zdroj olejových par v trubičce s otvory. Vlevo je vizualizovaný proud ve stavu 1- je zřejmé, že zasahuje za tryskou před dopadem na skloněnou stěnu převážně osovou oblast, vpravo je vizualizovaný proud ve stavu 2 vystupující z trysky z její periferní oblasti – oblast za tryskou je výrazněji a rovnoměrněji zavířena. Patrně jde opět o recirkulační pohyby vytékajícího vzduchu.



Obr. 10 Expozice vytékajícího proudu z trysky dopadajícího kolmo na stěnu. Osová vzdálenost stěny od ústí trysky  $x = 150 \text{ mm}$ , úhel stěny  $\alpha = 0^\circ$  a) stav 1, b) stav 2

Na obr. 10 je záběr dynamického zviditelnění impaktního proudu vzduchu z trysky. Nad ústím trysky ve spodní části obrázku je zdroj olejových par. Vlevo je patrný vizualizovaný proud přilehlý ve stavu 1 k osově oblasti, vpravo je vizualizovaný proud ve stavu 2 vystupující z trysky v periferní oblasti, který vykazuje komplexnější zavíření celé výtokové oblasti se složitější topologií.





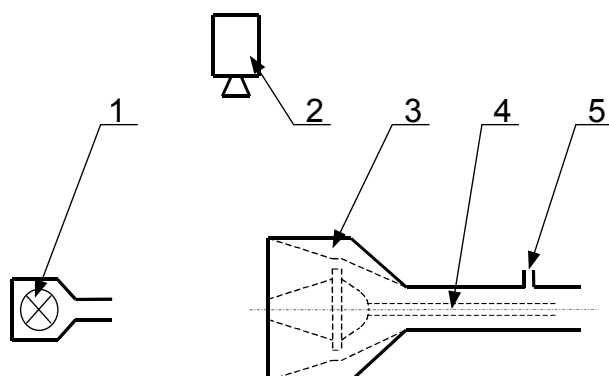
Obr. 11 Vizualizace impaktního proudu z trysky a) ve stavu 1 a b) ve stavu 2. Stěna je ve vzdálenosti  $x = 75 \text{ mm}$ ,  $w$  vyznačuje úsek impaktního proudu, kde ve stavu 1 je rychlost po dopadu orientována radiálně směrem od osy a ve stavu 2 radiálně směrem k ose.

Na obr. 11 je záběr dynamického zviditelnění impaktního proudu vzduchu z trysky. Nad ústím trysky ve spodní části obrázku je kouřící trubička. Nahoře a) je patrný vizualizovaný proud přilehlý ve stavu 1 k osové oblasti, který po dopadu na stěnu odtéká podél stěny radiálně od osy. Dole b) je vizualizovaný proud ve stavu 2 vystupující z periferní oblasti trysky a pohybující se za tryskou částečně rovněž podél stěny od osy, ale částečně také podél stěny k ose. „Dostředná“ část proudu způsobuje recirkulaci v osové oblasti. Na úseku  $w$  je tak polarita rychlosti ve stavech 1 a 2 opačná. Lze předpokládat, že cyklickým překlápěním trysky by bylo možné cyklicky měnit rychlost proudu na stěně na úseku  $w$  a tím i podpořit a zintenzivnit přenosové procesy, což se jeví perspektivní aplikačně.

#### 4. Vizualizace vystupujícího proudu z trysky metodou PIV

Moderní vizualizační metoda PIV poskytuje komplexní prostorové informace o rychlostním poli v daném čase. Poskytuje nejen kvalitativní obraz proudění ale také kvantitativní informace o rychlostním poli. Je založena na přítomnosti drobných mikroskopických značkových částic přimíšených do vyšetřovaného proudu (*angl.* seeds), které jsou proudem unášeny a vektory jejich rychlosti jsou tak shodné s vektory rychlosti proudu. Intenzivním zdrojem světla (např. laser) se vytvoří světelný řez a dvěma krátce po sobě následujícími expozicemi (typický časový odstup např.  $1/4000 \text{ s}$ ) pomocí digitální kamery se provedou 2 snímky poloh souboru značkových částic. Optoelektronickým a statistickým vyhodnocením se v jednotlivých místech oblasti světelného řezu vyhodnocují složky pohybu značkových částic a tím vznikne vektorový obraz rychlostního pole. Nároky na použitou vyhodnocovací výpočetní techniku jsou vyšší.

Pokus o aplikaci této zviditelňovací metody sledoval experimentální kontrolu výsledků numerických výpočtů simulujících výtok z trysky, případně zpětnou korekci některých vstupních údajů numerického řešení.

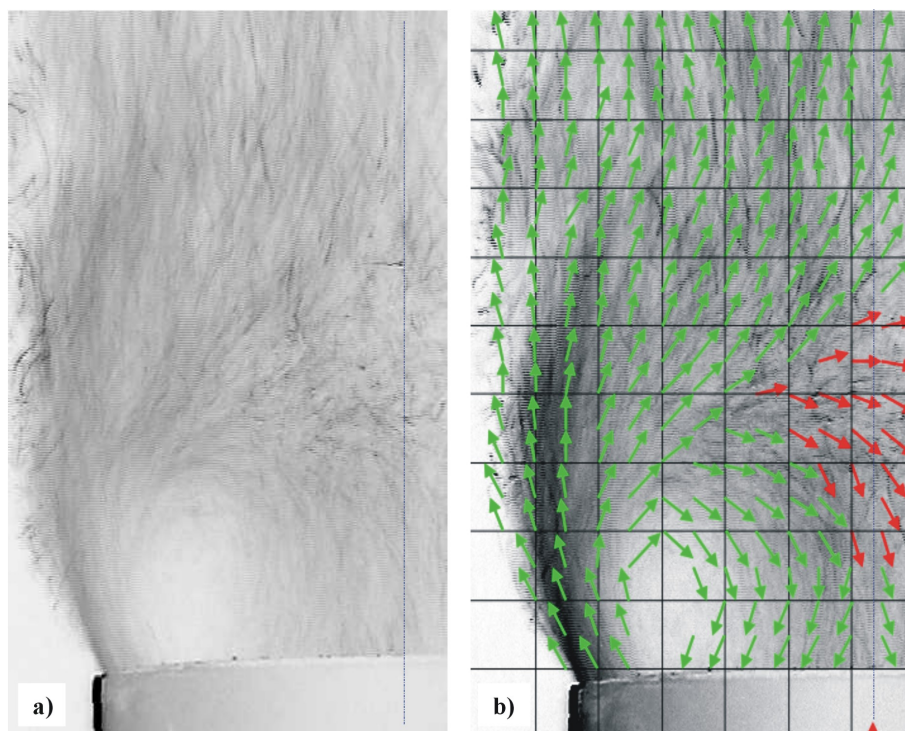


Obr. 12 Schema uspořádání vizualizace výtoků vzduchu z trysky;  
1 – zdroj světla, 2 – digitální kamera, 3 – osově symetrická prstencová tryska, 4 – řídicí proud,  
5 – vstup značkových vizualizačních částic

Provedené experimenty metodou PIV byly charakterizovány následujícími technickými údaji a podrobnostmi:

Použita byla digitální kamera Sony, model CCD TRV59E v režimu Digital 8, optické zvětšení 16, digitální zvětšení 420, možnost manuálního zaostřování, což je významné pro registraci záznamu různých vrstev vytékajícího proudu, digitální vstup/výstup umožňuje přenos obrazových dat do počítače. Zdrojem světla byla rtuťová výbojka pro zpětný projektor. Abychom docílili svazek světla obdélníkového průřezu o šířce 30 mm osvětlující plochu osového řezu, použilo se dvou clon omezujících šíření světla. Jako značkovací částice sloužily jemné dřevěné piliny.

Na obr. 13 vlevo je snímek značkových částic rozptýlených v proudu za tryskou. Vlevo je síť s vyhodnocenými vektory rychlosti. Zelené šipky odpovídají oblastem proudu, kde byly dobře splněny předpokladané analytické podmínky vyhodnocení, červené šipky jsou v oblasti, kde předpoklady vyhodnocení jsou splněny pouze přibližně a vyhodnocovací algoritmus proto používá některé aproximativní kroky.



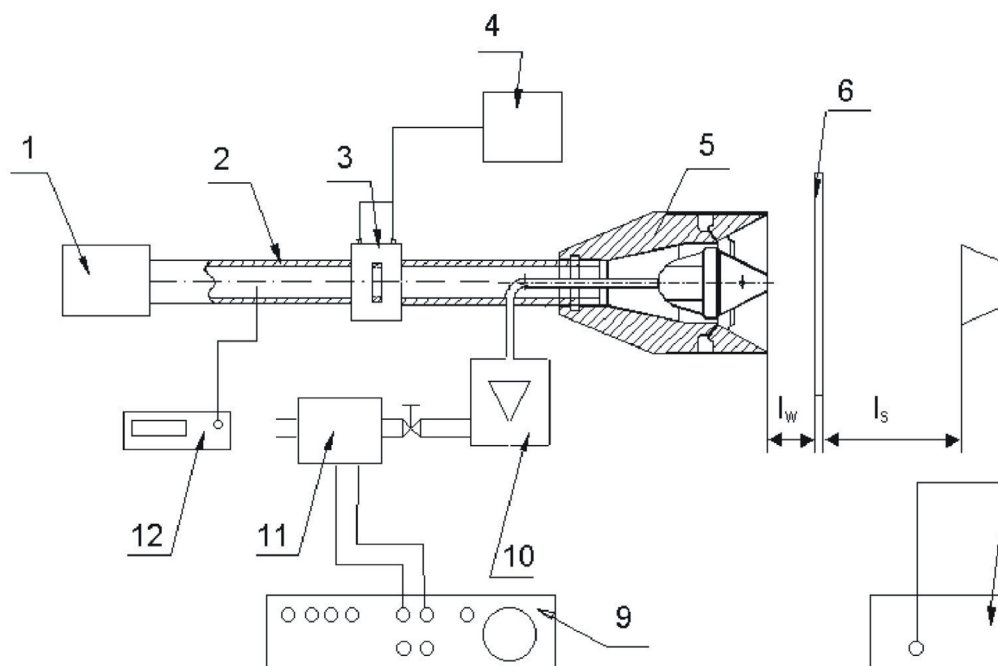
Obr. 13 Vytékající proud vzduchu za tryskou: a) zviditelněné značkové částice; b) do obrázku a) jsou přiklesleny výsledky numerických výpočtů vyhodnocených metodou PIV, šipky ukazují směr pohybu značkových částic unášených proudem vzduchu

Použitá kamera bohužel byla poměrně pomalá, takže výsledky nejsou uspokojující. Očekává se však, že s plánovanou rychlejší kamerou se v budoucnu dosáhne dokonalejších výsledků.

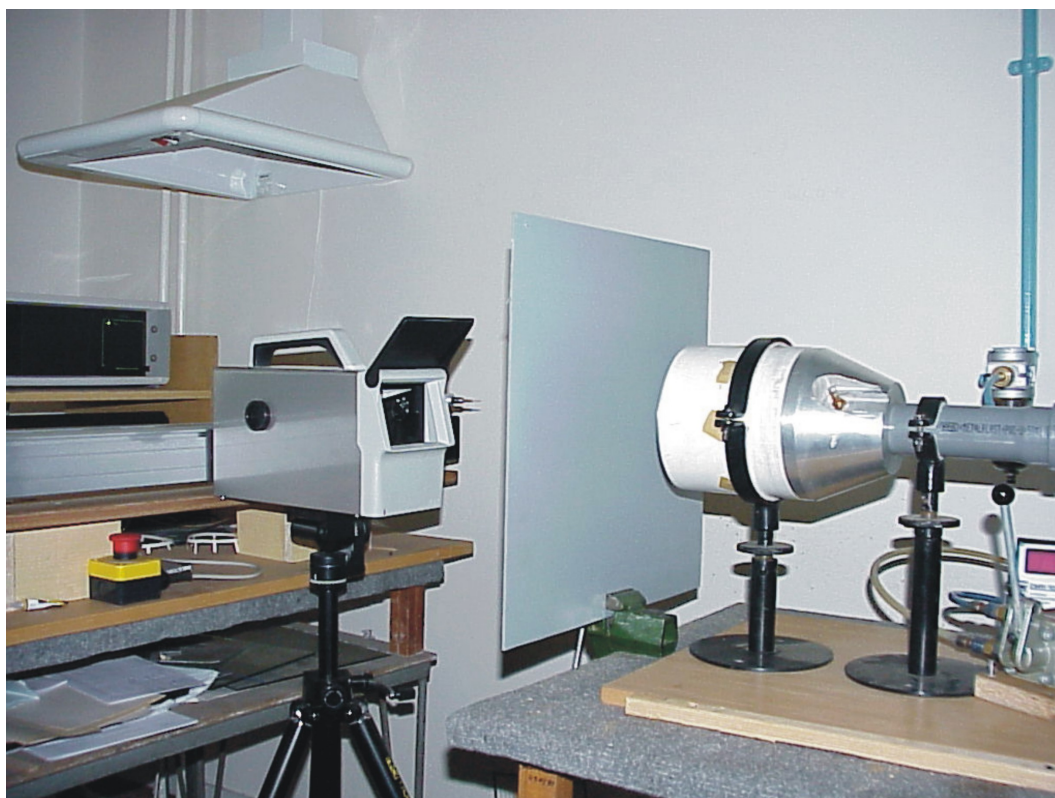
## 5. Měření termických vlastností trysky

V této části práce jsou uvedeny výsledky základních měření navrhované osově symetrické trysky. Pro účely tohoto výzkumu byla sestavena aparatura uvedená na obr. 14.

Proud vytékající z trysky (5) dopadal na stěnu (6) z umělé hmoty o čtvercových rozměrech  $0,42 \text{ m} \times 0,42 \text{ m}$  a tloušťce  $3,2 \text{ mm}$ . Na druhé straně stěny byl umístěn termický scanner (obr. 3.4.2). Stěna byla ve vzdálenosti  $h_w = 75 \text{ mm}$  od konce trysky. Tato vzdálenost byla zvolena na základě dříve provedených experimentálních pokusů. Pro tuto vzdálenost bylo zjištěno, že během přepínání proudu ze stabilního stavu 1 do stavu 2 a opačně dochází ke změně směru obtékání stěny [Wawrzynak, Peszyński, 2003].



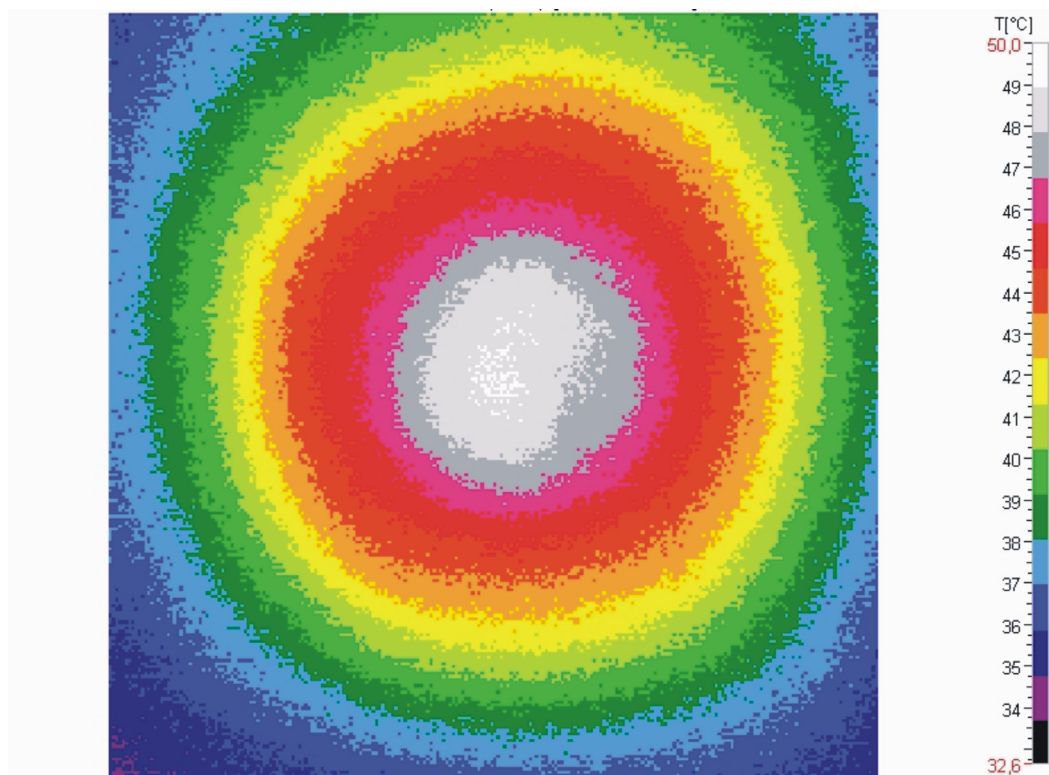
Obr. 14 Schéma uspořádání. 1 – napájecí a vyhřívací soustava, 2 – hlavní napájecí vzduchovod, 3 – měřicí clonka, 4 – elektronický diferenční mikromanometr CMR-10A, 5 – zkoumaná tryska, 6 – impaktní (vyhřívaná) stěna, 7 – termografická kamera nebo scanner, 8 – počítač PC, 9 – generátor frekvence, 10 – rotametr, 11 – elektromagnetický ventil pro napájecí a řídicí proud, 12 – teploměr



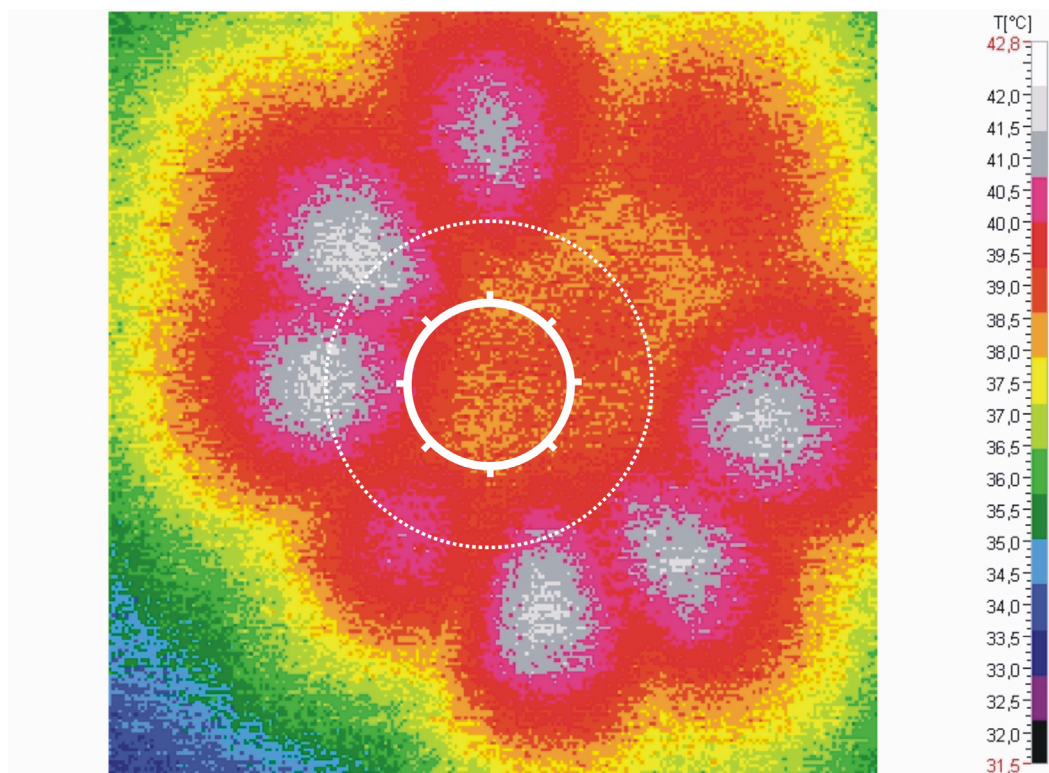
Obr. 15 Aparatura pro snímání termografických záznamů

Pro měření teploty stěny se používal termický scanner V-20 II od firmy VIGO System, S.A. Jedná se o dvourozměrný scanner, který umožňuje získání obrazu o maximální rozlišovací schopnosti  $240 \times 240$  bodů na zkoumané ploše. Scanner byl postaven ve vzdálenosti  $h_s = 0,51$  m za stěnou. Tato vzdálenost od stěny dovoluje získání záznamu čtvercové plochy o rozměrech  $0,39 \times 0,39$  m. Scanner spolupracuje s PC pomocí sériového portu RS nebo USB (během experimentu jsme používali USB). Připojený software THERM V-20 odebírá naměřená data ze scanneru a podle předem určeného nastavení je převádí do obrazového tvaru, kde různým teplotám jsou přiřazeny různé barevné body. Naměřená data byla prostřednictvím textového souboru převedena do formátu Excel, kde se dále zpracovávala.

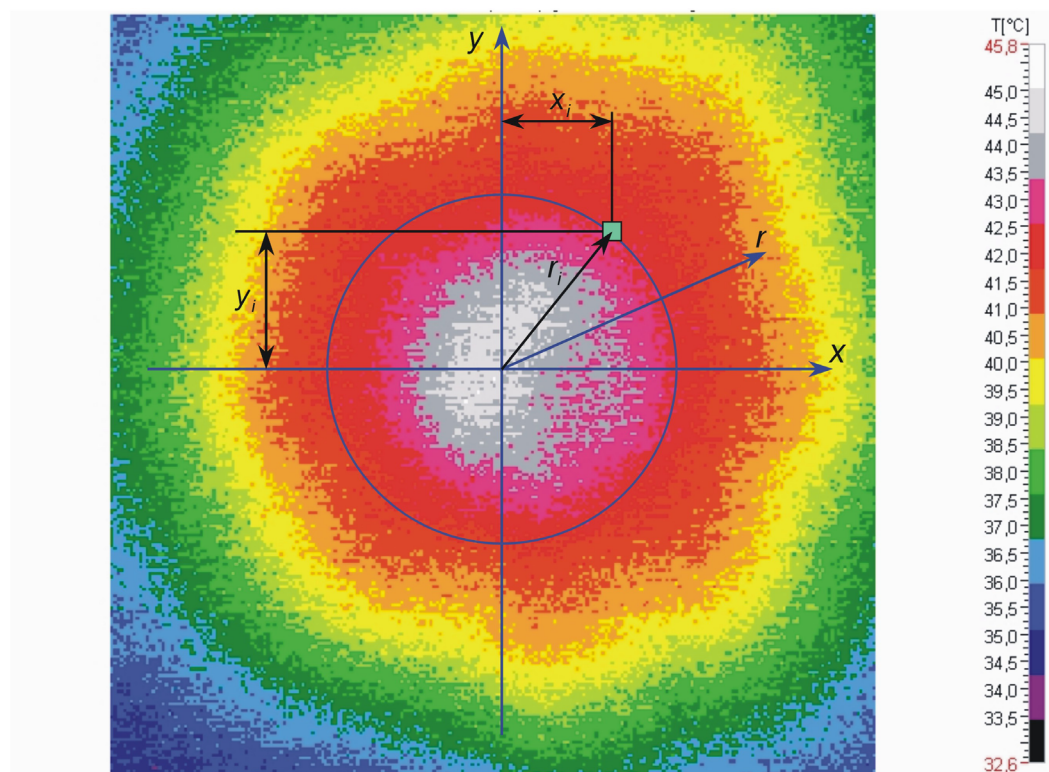
Byly zkoumány tři druhy vytékajícího proudu: kruhového průřezu o značné rychlosti a poměrně malém průřezu, prstencový proud o malé rychlosti a poměrně velkém průřezu a proud s vynuceným cyklickým překlápěním mezi výše uvedenými druhy proudu. Frekvence překlápění proudu byla  $f_f = 0,5; 1; 1,3; 2$  a  $3$  Hz. Tyto frekvence byly voleny na základě práce [Wawrzyniak, 2002], ve které byl stanoven vliv frekvence přepínání hlavního proudu na absolutní hodnotu turbulence v proudu vytékajícím z trysky. Pro vytvoření tepelného proudu se využívalo elektrické spirály o příkonu  $1500$  W. Během experimentu se používal proud o hmotnostním průtoku  $Q_m = 0,0072$  kg/s. V napájecím vzduchovodu (2) se měřil pomocí měřicí clonky 3, rozdíl tlaku byl měřen diferenčním mikromanometrem (4). Za těchto podmínek hlavní proud dosahoval maximální teploty  $72,5 - 73$  °C. Teplota byla měřena teploměrem (12). Níže uvedené obrázky byly získány v ustáleném stavu soustavy, po čase  $\tau = 480$  s vyhřívání stěny. Aby bylo možno porovnávat výsledky, vycházelo se vždy ze stejných počátečních podmínek, tzn. teplota trysky a stěny odpovídala okolní teplotě  $T_0 = 21,8$  °C.



Obr. 16 Rozložení teploty na vyšetřované ploše pro trysku s proudem v 1. stavu



Obr. 17 Rozložení teploty na vyšetřované ploše pro trysku s proudem v 2. stavu



Obr. 18 Rozložení teploty pro opakované přestavování proudu při  $f_f = 1$  Hz

Záznamy rozložení teploty získané pomocí scanneru dovolují pouze kvalitativně zjistit vliv frekvence na teplotní pole přestavováním hlavního proudu. Zvlášť zajímavý je obraz

rozložení teploty u trysky ve stavu 2. Viditelné radiální rozložení kruhové oblasti rozdílných teplot je způsobené použitým spoilerem. Jak bylo popsáno výše, spoiler je připevněn k vnějšímu kuželu trysky pomocí 8 patek. Záznam ukazuje, jak patky spoileru výrazně ovlivňují výstupní proud. U jiných dříve uvedených experimentů spojených s experimentálním a numerickým vyšetřováním proudového pole a během vizualizace průtoku se vliv patek spoileru zanedbával.

## 6. Literatura

- Peszyński K., Trávníček Z., 2002. Jet flow visualization for an axi-symmetric nozzle. Chapter in monography „Development in control and machinery design”, editor Janusz Sempruch, Wydawnictwa Uczelniane ATR w Bydgoszczy, ISBN 83–87274–39–9.
- Peszyński K., Wawrzyniak S., 2003. Continuous visualization of flow in power fluidic elements and basic analysis. Engineering Mechanics '2003, Svratka, Czech Republic. p. 248 – 249, ISBN 80-214-2109-6.
- Řezníček R., 1972. Visualizace proudění. Academia, Praha.
- Trávníček Z., 2002. Příklady použití kouřové vizualizace proudění v experimentální mechanice tekutin. VVI (Vytápění větrání instalace), Vol. 11, No. 5, pp. 230-233.
- Trávníček Z., Maršík F., 2002. Flow Visualization and Mass Transfer with a Bistable Two-Slot Impinging Jet. In: Proceedings of the 10<sup>th</sup> Int. Symposium of the Flow Visualization, (ISFV 10), Kyoto, Book of Abstracts p. 44; Full text CD-ROM, F0068.
- Wawrzyniak S. Peszyński K., 2005. Preliminary Study into Thermal Properties of Controlled Axisymmetric Nozzle, Proceedings of the Engineering Mechanics '2005, Svratka, Czech Republic, p. 353–354 + full text on CD, ISBN:80-85918-93-5.
- Wawrzyniak S., 2002. Stanowisko do ciągłej wizualizacji przepływu w elementach strumieniowych. Proceedings of the VI conference ‘Postępy w konstrukcji i sterowaniu’ – Bydgoszcz-Duszniki Zdrój, p. 61, full text CD-ROM.