

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



Katedra energetických zařízení

**AERODYNAMIKA KONSTRUKČNÍCH
VARIANT TRYSKOVÉHO PROHOZNÍHO
SYSTÉMU TKACÍHO STROJE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

1999

Richard Zakopal



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra energetických zařízení

Obor: 23 - 17 - 8 Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření: Tepelná technika

AERODYNAMIKA KONSTRUKČNÍCH VARIANT TRYSKOVÉHO PROHOZNÍHO SYSTÉMU TKACÍHO STROJE

AERODYNAMICS OF CONSTRUCTION VARIANTS OF JET PICKING SYSTEM OF AIR - JET LOOM

Richard Zakopal

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jiří Unger, CSc.

Konzultant: Ing. Václav Kopecký, CSc.

Počet stran.....53

Počet příloh.....31

Datum: 28. 5. 1999

Řešitel: Richard Zakopal



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra energetických zařízení

Studijní rok: 1998/99

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Richard Zakopal

obor

23 - 17 - 8 Konstrukce strojů a zařízení

zaměření

Tepelná technika

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Aerodynamika konstrukčních variant tryskového prohozního systému tkacího stroje.

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Rešeršní studie technologie tryskového prohozu u tkacích strojů.
2. Aerodynamika zatopených proudů sonických trysek.
3. Stanovte metodou laser-dopplerovské anemometrie rychlostní pole v prohozním kanálu tkacích paprsků při dvou různých konstrukčních konfiguracích.
4. Formulujte vliv polohy štafetových trysek a vliv dostavy na zesilovací účinek tkacího paprsku (kinetika průtoku vzduchu profilovým paprskem ev. hybnostní bilance).

197/995

KEZ/TT
50 p. 24 p. příl.

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva: cca 50 stran textu
- grafické práce: průběhy rychlostních polí (v příloze),
konstrukční uspořádání prohozního systému

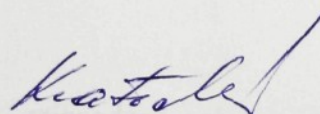
Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

1. Kopecký, V. : Aplikace laserové dopplerovské anemometrie na měření proudových polí
vzduchového prohozu tryskového tkacího stroje. Kandidátská disertační práce. TU Liberec, 1993
2. Abramovič, G. N. : Teoria turbulentnych struj. GIFML Moskva 1960
3. Goldstein, R. J. : Fluid Mechanics Measurements. Hemisphere. Publ. Corp. New York, 1983
4. Adámek, K. : Vzduchový tryskový prohoz. Zpráva VÚTS Liberec, 1990

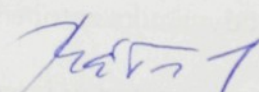
Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Jiří Unger, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Václav Kopecký, CSc.

Pozn.: Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.


Prof. Ing. Jiří Kratochvíl, CSc.
vedoucí katedry




Doc. Ing. Ludvík Prášil, CSc.
děkan

V Liberci dne 30.3.1999

TÉMA : Aerodynamika konstrukčních variant tryskového prohozního systému tkacího stroje.

ANOTACE : Diplomová práce pojednává o principech zanášení útkové nitě na tryskových tkacích strojích, především o pneumatických tryskových prohozních systémech a také o zatopených proudech hlavních a pomocných trysek. Stručně shrnuje možnosti použití jednotlivých metod laserové anemometrie při experimentálním vyšetřování proudění. Zabývá se experimentálním stanovením rychlostních profilů a intenzit turbulence uvnitř prohozního kanálu, jakož i posouzením vlivu polohy pomocných trysek a dostavy profilových třtin tkacího paprsku na rychlostní pole.

THEME : Aerodynamics of construction variants of jet picking system of air - jet loom

ANOTACION : Thesis deals with principles bringing of weft thread on air - jet looms, first of all with air - jet picking systems and also with flood streams main and helping jet. Thesis briefly summarizes possibilities of using individual methods of laser anemometry in experimental investigation streaming. It occupy itself with experimental investigation of profiles of velocity and intensities of turbulence inside picking canal and next with judging influence of position of helping jets and reed sett of profiled reed dent.

Desetinné třídění :

Klíčová slova :

Zpracovatel : TU v Liberci - KEZ

Dokončeno : 1999

Archivní označení zprávy :

Počet stran : 53

Počet příloh : 31

Počet obrázků : 29

Počet tabulek : 3

Počet grafů : 11

Místopřísežné prohlášení

„Místopřísežně prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.“

V Liberci dne : 28.5.1999

Richard Zakopal
Richard Zakopal

Prohlášení

Jsem si vědom, že tato diplomová práce je majetkem Technické univerzity, že s ní sám bez svolení Technické univerzity nemohu volně disponovat, a že může být zapůjčena nebo objednána (kopie) za účelem využití jejího obsahu.

Beru na vědomí, že po pěti letech si mohu diplomovou práci vyžádat v Univerzitní knihovně TU v Liberci, kde je uložena.

Richard Zakopal

Adresa : Richard Zakopal
Studentská 1347
Přelouč 535 01

Obsah

1. ÚVOD	1
2. TVORBA TKANINY	2
3. STUDIE POUŽITÍ TRYSKOVÉHO PROHOZNÍHO SYSTÉMU	3
3.1 Systémová studie	3
3.2 Podrobnější studie	3
4. STUDIE TATOPENÝCH PRŮTOKŮ V TRYSKOVÉM SYSTÉMU	4
4.1 Laserový Dopplerův anemometr	4
4.2 Laserový Dopplerův anemometr	4
4.3 Laserový Dopplerův anemometr	4
4.4 Laserový Dopplerův anemometr	4
4.5 Laserový Dopplerův anemometr	4
4.6 Laserový Dopplerův anemometr	4
4.7 Laserový Dopplerův anemometr	4
4.8 Laserový Dopplerův anemometr	4
4.9 Laserový Dopplerův anemometr	4
4.10 Laserový Dopplerův anemometr	4
4.11 Laserový Dopplerův anemometr	4
4.12 Laserový Dopplerův anemometr	4
5. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	5
5.1 Popis pokusu	5
5.2 Popis pokusu	5
5.3 Popis pokusu	5
5.4 Popis pokusu	5
5.5 Popis pokusu	5
5.6 Popis pokusu	5
5.7 Popis pokusu	5
5.8 Popis pokusu	5
5.9 Popis pokusu	5
5.10 Popis pokusu	5
5.11 Popis pokusu	5
5.12 Popis pokusu	5
6. ZPRACOVÁNÍ EXPERIMENTU	6
6.1 Zpracování	6
6.2 Zpracování	6
6.3 Zpracování	6
6.4 Zpracování	6
6.5 Zpracování	6
6.6 Zpracování	6
6.7 Zpracování	6
6.8 Zpracování	6
6.9 Zpracování	6
6.10 Zpracování	6
6.11 Zpracování	6
6.12 Zpracování	6
7. ZÁVĚR	7
8. PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	8
9. PŘÍLOHY	9

OBSAH

1. ÚVOD	6
2. TVORBA TKANINY	6
3. STUDIE POUŽITÍ TRYSKOVÉHO PROHOZNÍHO SYSTÉMU	6
3.1 Hydraulické tryskové tkací stroje	7
3.2 Pneumatické tryskové tkací stroje	7
4. STUDIE ZATOPENÝCH PROUDŮ SONICKÝCH TRYSEK	9
4.1 Hlavní trysky	9
4.2 Pomocné trysky	16
5. LASEROVÁ ANEMOMETRIE	21
5.1 Obrazová anemometrie částic - PIV	21
5.2 Laserová dvojhniková anemometrie - L2F	22
5.3 Laserová dopplerovská anemometrie - LDA	23
5.4 Porovnání LDA s L2F a PIV	27
6. LASEROVÝ DOPPLEROVSKÝ ANEMOMETR	27
6.1 Optická část LDA	27
6.2 Vyhodnocovací část LDA	28
6.2.1 Čítačový procesor	29
6.2.2 Analyzátor spektra dopplerovského vzryvu - BSA	31
7. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	32
7.1 Popis podmínek měření, použitých přístrojů a nastavení jejich parametrů	33
8. DISKUZE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	39
8.1 Intenzita turbulence	39
8.2 Náběh rychlostních maxim	40
8.3 Zesilující účinek profilového tkacího paprsku	40
8.4 Konstrukční varianta č. 1	42
8.5 Konstrukční varianta č. 2	44
8.6 Konstrukční varianta č. 3	45
9. ZHODNOCENÍ EXPERIMENTU	46
10. ZÁVĚR	49
PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	51
PŘÍLOHY	52

1. ÚVOD

Parametry vzduchového prohozu pneumatických tkacích strojů patří mezi ty parametry, které určují maximální možné výkony těchto strojů. S rostoucím výkonem rostou otáčky (tedy frekvence zanášení útku, a s tím i klesá čas na bezchybné uskutečnění vlastního prohozu) i pracovní šíře. Současně dalším požadavkem je co možná nejmenší energetická náročnost prohozního ústrojí, vyplývající ze spotřeby tlakového vzduchu. Proto se v poslední době věnuje velká pozornost optimalizaci konstrukčních a provozních parametrů prohozního ústrojí.

To se však neobejde bez experimentálního vyšetřování proudění, které nám pomůže získat jasnější představu o procesu prohozu útkové nitě.

Cílem diplomové práce má být podrobné seznámení s metodikou měření na laserovém dopplerovském anemometru, proměření rychlostního pole ve dvou roztečích pomocných trysek, uvnitř vodícího kanálu dle konstrukčních uspořádání (viz. přílohy 1,7,13) a posouzení vlivu dostavy profilových třtin tkacího paprsku, jakož i vlivu umístění pomocných trysek vůči vodícímu kanálu. Jedna z variant byla také proměřena za absence tkacího paprsku, kdy se zkoumal zesilující účinek vodícího kanálu.

V teoretické části práce je pojednáno především o pneumatických tryskových prohozních systémech, o zatopených prouděch používaných trysek a také stručně shrnuje možnosti jednotlivých druhů laserové anemometrie.

2. Tvorba tkaniny

Tkanina se tvoří vzájemným provazováním dvou soustav nití. Osnovní nitě vcházejí do tkacího procesu podélně v plném počtu. Útkové nitě se vkládají postupně příčně do osnovy (do prostoru vytvořeného rozdělením osnovních nití - do prošlupu), vždy po jedné niti během jednoho tkacího cyklu. Po zanesení útku dojde k výměně osnovních nití, paprsek zatlačí zanesený útek k čelu tkaniny a celý proces se opakuje.

3. Studie použití tryskového prohozního systému

Tryskové tkací stroje k zanášení útkové nitě využívají proudy média, které ji vlivem své vazkosti strhává sebou. Výhodou tohoto způsobu je skutečnost, že odpadá periodické urychlování respektive brzdění značných hmot zanašečů (člunku, skřipce atp.), což umožňuje zvýšit výkon stroje bez neúnosného dynamického namáhání některých strojních součástí.

Podle druhu použitého média se tryskové tkací stroje dělí na:

- hydraulické
- pneumatické

3.1 Hydraulické tryskové tkací stroje

Hydraulický tryskový tkací stroj používá k zanášení útku vodní paprsek. Každý stroj má zpravidla zabudováno vstřikovací čerpadlo, které vhání paprsek vody tryskou do prošlupu a zatkává tak útek. Tento způsob je vhodný pro tkaní nesmáčivých materiálů, zvláště pro syntetické textilní materiály. I v těchto materiálech zůstane ještě asi 30 % adhezivní vody. Tu již nelze mechanicky odstranit a musí se dosušet teplým vzduchem nebo infrazářiči. Problémem je také velká spotřeba vody, kterou je nutné nákladně upravovat.

3.2 Pneumatické tryskové tkací stroje

Pneumatický tkací stroj používá k zanášení útku proud vzduchu. Podle toho, zda je proud vytvářen pouze hlavní tryskou nebo hlavní tryskou a soustavou pomocných trysek, rozeznáváme pasivní respektive aktivní prohoz. U pasivního prohozu je jediným hnacím členem hlavní tryska, která musí vytvořit nosný proud a to po celé pracovní šířce.

Nejjednodušším způsobem je zanášení volným proudem. Proud však ve volném prostoru strhává sebou i okolní vzduch, čímž ztrácí energii a na poměrně krátké vzdálenosti zaniká. Z toho plyne, že tento způsob je možné používat jen při malých pracovních šířkách.

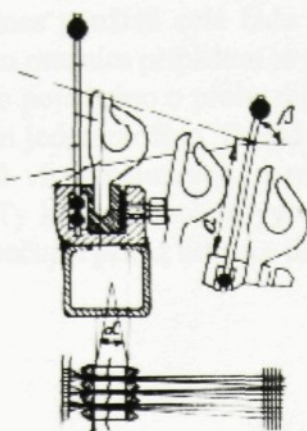
Aby se zabránilo rozptylu vzduchového proudu, byly vyvinuty nejrůznější kanály. Jedním z nejstarších je vnější kanál trojúhelníkového průřezu, tvořený profilovanými lamelami (viz. obr. 3.1). Ten však vytváří příliš velký prostor, ve kterém se ještě navíc nalézají osnovní nitě, které svojí přítomností narušují proud.

Proto se začali používat kanály vnitřní, tvořené konfuzorovými lamelami, které se na dobu prohozu zasunou do osnovních nití (viz. obr. 3.2). U takto vytvořených konfuzorů však ještě dochází k úniku vzduchu a proud tak postupně ztrácí svoji nosnost, což nám v případě pasivního prohozu zákonitě omezuje pracovní šířku stroje.

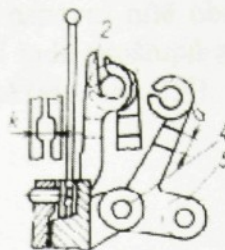
Z tohoto důvodu byly vyvinuty nejrůznější druhy mechanického uzavírání konfuzorů. Zařízení na obr. 3.3 má dva druhy lamel, lamely 2 jsou pevně spojeny s paprskem. Po jejich zasunutí do prošlupu se mezi ně vsune druhá část lamel 5. Tím vznikne souvislý kanál. Oba druhy lamel mají speciální drážky, k vytvoření prostor K potřebného pro spodní osnovní nitě. Dalším řešením jsou na obr. 3.4 otočné lamely 2, které mohou být pomocí ozubeného hřebenevého převodu natočeny tak, že na sebe zcela dolehnou.



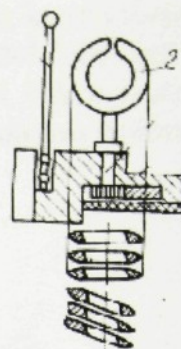
Obr. 3.1
Vnitřní kanál



Obr. 3.2
Vnější kanál

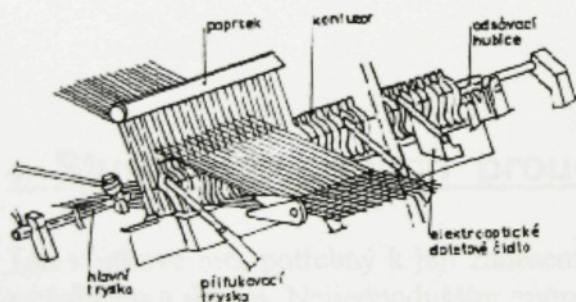


Obr. 3.3
Způsoby uzavírání prohozního kanálu



Obr. 3.4

Z názoru je patrné, že popsané způsoby budou omezeny maximální šířkou za kterou již nejsme schopni hlavní tryskou vytvořit takové proudové pole, které nám zajistí rychlý a spolehlivý prohoz. U velkých šířek se proto využívá aktivního prohozu s pomocnými tryskami či aktivními lamelami (viz. obr. 3.5 a obr. 3.6).



Obr. 3.5
Schéma uspořádání aktivního prohozu
s pomocnými (přífukovacími) tryskami



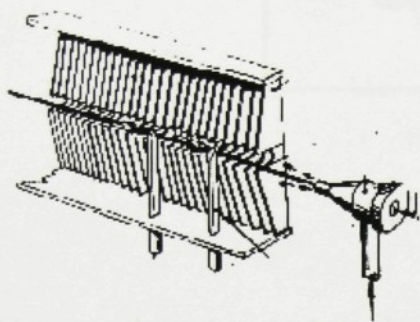
Obr. 3.6
Aktivní (přífukovací) lamela

Velkou nevýhodou konfuzorového kanálu je přítomnost lamel v prošlupu, která znesnadňuje tkaní hustých osnov. Vnikání konfuzoru do osnovy může poškodit osnovní nitě, způsobit vazební chybu, nebo nedolet útku. I přes tyto nevýhody je používání konfuzorů stále zajímavé a to zvláště pro malou energetickou náročnost.

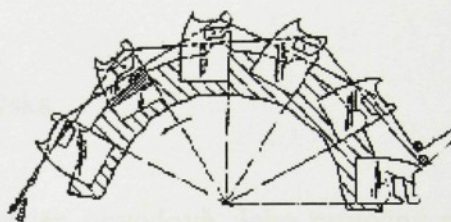
V současné době se však nejvíce uplatňuje vnitřní otevřený kanál vytvořený z profilových třtin tkacího paprsku (viz. obr. 3.7). V otevřeném vodícím kanále dochází k intenzivnější interakci proudu s okolím než u konfuzorů a proud tak výrazně rychleji slábne. Proto se tento způsob zanášení útku používá výhradně jako aktivní prohoz. Pomocné trysky, kromě toho, že vytvářejí nosný proud, musí také spolu s vodícím kanálem vymezovat prostor, ve kterém se realizuje pohyb útku a to tak, aby nedocházelo k nadměrnému tření útku o stěny kanálu nebo naopak, aby dráha letu útku nebyla mimo

vodící kanál. Proto se dnes používá celá řada tvarů vodících kanálů a způsobů umístění pomocných trysek. Jistým mezním případem je prohoz útku podél rovinného paprsku.

Doposud zde bylo pojednáno o prohozních systémech tkacích strojů, které vytvářejí v jeden okamžik vždy jen jeden prošlup. Požadavek vyšších výkonů v dnešní době vedl ke konstrukci tkacích strojů víceprošlupných, u nichž osnovní nitě obepínají buben tvořený tvarovanými lamelami. Ty kromě toho, že vytvářejí řadu prošlupů za sebou pro současný prohoz více útků, zabezpečují i příraz útku ke tkanině (viz. obr. 3.8).



Obr. 3.7
Vnitřní otevřený kanál



Obr. 3.8
Současný prohoz více útků

4. Studie zatopených proudů sonických trysek

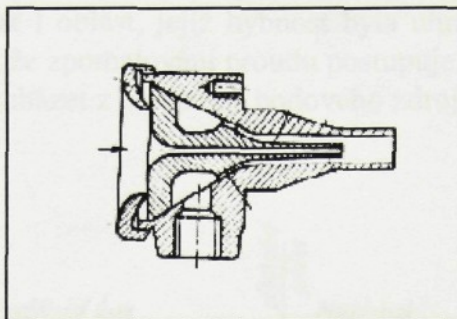
Tah v útkové niti, potřebný k její zanesení, je způsobován relativní rychlostí mezi proudem vzduchu a útkem. Nejjednodušším způsobem jak docílíme požadované rychlosti vzduchu je transformace jeho vnitřní a tlakové energie na energii kinetickou. Expanze stlačeného vzduchu probíhá v tryskách, které se u pneumatických tryskových strojů dělí na:

- hlavní
- pomocné

4.1 Hlavní trysky

Hlavní trysky bývají umístěny vždy vně prošlupu, na boku stroje. Jejich hlavním úkolem je udělit útku základní hybnost. U pasivního prohozu musí hlavní tryska, mimo jiné, také vytvořit nosný proud a to v celé pracovní šíři. Na rozdíl od toho u aktivního prohozu hlavní tryska pouze útek do prošlupu vkládá; její vliv na vytváření nosného proudu v prošlupu se vzdáleností velice rychle klesá a tuto funkci přebírají trysky pomocné.

Hlavní trysky fungují na principu ejektoru, princip je dobře patrný z obr. 4.1, na němž je vyobrazen starší typ hlavní trysky. Dnes se používají trysky s delší směšovací trubicí, aby byl zintenzivněn vliv vzduchového proudu na útkovou nit.



Obr. 4.1
Hlavní tkací tryska

Primární stlačený vzduch je do trysky přiváděn obvodově. Jeho průtočný průřez, který je tvořen mezikružím mezi pláštěm trysky a útkovou trubicí se zmenšuje, vzduch expanduje a narůstá jeho rychlost. Právě nárůst rychlosti způsobí pokles statického tlaku na začátku směšovací trubice. Pokles tlaku je tak výrazný, že v ústí útkové trubice vznikne podtlak vůči tlaku atmosférickému a to má za následek přisávání značného množství sekundárního vzduchu do směšovací trubice trubicí útkovou. Takto nasávaný vzduch nám sebou strhává předem připravený útek.

Ve směšovací komoře již dochází ke značnému zbrzdění primárního vzduchu, způsobeného přenosem hybnosti mezi primárním a sekundárním proudem při procesu směšování. Přenos hybnosti však není realizován pouze mezi jednotlivými proudy vzduchu, nýbrž i při působení vzduchu na útkovou nit, která je urychlována. Průběh těchto dějů lze do jisté míry ovlivňovat délkou směšovací a útkové trubice a jejich vzájemnou geometrií. Vliv má i velikost přetlaku primárního vzduchu. Existuje určitá optimální hodnota přetlaku kdy, docílíme maximálního sacího výkonu, zatímco při zvětšování přetlaku nad tuto hodnotu sací výkon postupně klesá a v mezním případě může dojít k zpětnému proudění v útkové trubicí.

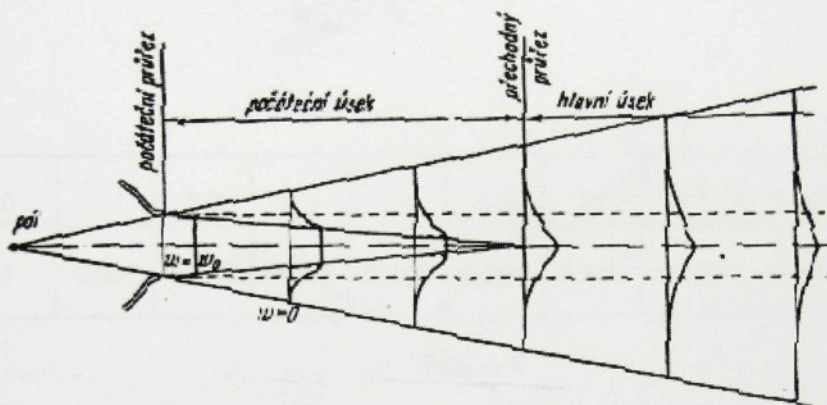
Po smíšení ve směšovací trubicí vystupuje vzduchový proud do klidného vzduchu s poměrně vyrovnaným rychlostním profilem, který se vyznačuje lokálním minimem v ose proudu.

Obecný popis šíření zatopeného proudu z trysky není dost dobře možný bez značných zjednodušení. Reálné proudění za tryskou s uvažováním všech provozních parametrů je totiž velmi komplikovaná záležitost. Za ústím trysky dochází ke směšování proudu s proudy pomocných trysek, dochází k interakci proudu z porézní stěnou vodícího kanálu, při které dochází k odrazům proudu a prostupu mimo kanál. V proudovém poli se nachází útek o značné chlupatosti, děj není stacionární záležitostí, při které by bylo vytvořeno stálé proudové pole. Vliv mohou mít i osnovní nitě a periodický pohyb bidla s paprskem.

Při obecném popisu proudění za tryskou se proto omezíme na volný zatopený proud, při stacionárním režimu za absence útkové nitě. I zde narážíme na obecné potíže při řešení turbulentního proudění reálné viskózní tekutiny a proto se většinou vychází z výsledků experimentů.

Z názoru je patrné, že rychlost šíření proudu bude neustále klesat. Na povrchu proudu se začnou uplatňovat mechanismy turbulentního směšování díky nimž je do proudu strháván klidný vzduch z okolí. V této oblasti se tvoří mezní vrstva vytvořená ze zabrzžděného proudu či vzduchu strženého do proudu. S narůstající vzdáleností od trysky se proud rozšiřuje a narůstá tak i oblast, jejíž hybnost byla uhrazena z hybnosti základního proudu.. To má za následek, že zpomalování proudu postupuje z jeho okraje do středu.

Při řešení budeme vycházet z představy bodového zdroje proudu (viz. obr. 4.2).



Obr. 4.2
Bodový zdroj proudu

Při matematickém popisu je výhodné používat bezrozměrných rychlostních profilů, které nejsou závislé na odlehlosti od ústí trysky, definovaných funkcí:

$$\frac{w}{w_{\max}} = f\left(\frac{y}{y_{0,5w_{\max}}}\right) \quad (4.1)$$

kde je: w - rychlost proudu ve vzdálenosti y od osy proudu

$w_{\max}$ - maximální rychlost v ose proudu

y - vzdálenost libovolného bodu od osy proudu

$y_{0,5 w_{\max}}$ - vzdálenost od osy proudu, ve které je rychlost $w = \frac{1}{2} \cdot w_{\max}$

Existuje tedy i funkce f , vyjadřující závislost bezrozměrné rychlosti na bezrozměrné vzdálenosti měřeného bodu od bodu maximální rychlosti (v hlavním úseku

mezi měřeným bodem a osou proudu):

$$\frac{w}{w_{\max}} = f\left(\frac{y}{R_{\text{mez}}}\right) \quad (4.2)$$

kde je: R_{mez} - polovina šířky proudu v hlavním úseku a šířka mezní vrstvy v počátečním úseku

Pro zjednodušení lze zavést:
$$\eta = \frac{y}{R_{mez}} \quad (4.3)$$

Pak můžeme numericky vyjádřit bezrozměrnou rychlost $\frac{w}{w_{max}}$ při představě konečného účinku proudu ve vzdálenosti R_x od osy proudu, jako funkci η (viz. tab. 4.1) podle Schlichtingova vztahu:

$$\frac{w}{w_{max}} = \left[1 - \sqrt[3]{(\eta)^3} \right]^2 \quad (4.4)$$

η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\frac{w}{w_{max}}$	1	0,907	0,785	0,596	0,443	0,300	0,186	0,098	0,044	0,013	0

Tab. 4.1

Vedle podélné rychlosti se v proudu vyskytuje i rychlost příčná, způsobující rozšiřování proudu. Střední hodnota příčné rychlosti $\bar{w}_y$ je však tak malá, že ji zanedbáváme ($\bar{w} \approx \bar{w}_x$).

V důsledku turbulence můžeme rychlost proudu v libovolném bodě rozložit na střední a pulzující složku:
$$w_x = \bar{w}_x + w_x' \quad (4.5)$$

$$w_y = w_y' \quad (4.6)$$

Je-li směšovací délka v turbulentním proudu rovna l_T , dostane se částice při průchodu napříč proudem do místa, kde se rychlost liší od rychlosti místa, ze kterého vyšla

o hodnotu:
$$\Delta \bar{w}_x = l_T \cdot \frac{\partial \bar{w}_x}{\partial y} \quad (4.7)$$

která představuje velikost pulzace rychlosti, tedy lze psát:
$$w_x' \approx l_T \cdot \frac{\partial \bar{w}_x}{\partial y} \quad (4.8)$$

Předpokládáme, že velikost pulzace příčné rychlosti je úměrná pulzaci podélné rychlosti: $w_y' \approx w_x'$.

Z toho plyne:
$$w_y' \approx l_T \cdot \frac{\partial \bar{w}_x}{\partial y} \quad (4.9)$$

Jak už bylo řečeno, rozšiřování proudu se děje působením příčné rychlosti (její pulzující složky, neboť střední hodnotu jsme zanedbali). Zaujímá nás závislost šířky proudu b na odlehlosti:

$$w_y' \approx l_T \cdot \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \approx \frac{db}{dt} \quad (4.10)$$

kde je : t - čas

Vzhledem k podobnosti rychlostních profilů v různých průřezích proudu můžeme psát:

$$\frac{\partial w}{\partial y} \approx \frac{w_{\max}}{b} \quad (4.11)$$

a dále:

$$\frac{db}{dt} \approx \frac{l_T}{b} \cdot w_{\max} \approx w_{\max} \quad (4.12)$$

Rychlost rozšiřování proudu lze přepsat:

$$\frac{db}{dt} = \frac{db}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} \quad (4.13)$$

a tedy:

$$\frac{db}{dt} \approx \frac{db}{dx} \cdot w_{\max} \quad (4.14)$$

kde je : x - odlehlost od pólu proudu

Porovnáním rovnic (4.12) a (4.14) dostaneme závislosti šířky proudu a směřovací délky:

$$b = kx \quad (4.15)$$

$$l_T = cx \quad (4.16)$$

Dále budeme předpokládat, že tlak v proudu je prakticky rovný tlaku v okolním prostředí. Proto bude změna hybnosti plynu ve všech průřezích proudu stejná, a to:

$$H = \int_0^S \rho \cdot w^2 \cdot dS = \text{konst.} \quad (4.17)$$

kde je: ρ - hustota vzduchu

dS - elementární plocha průřezu proudu

Po vyjádření plochy a převedení na bezrozměrný tvar, lze psát:

$$2 \cdot \int_0^{\frac{R_{mez}}{R_0}} \left(\frac{w}{w_0} \right)^2 \cdot \frac{y}{R_0} \cdot d \frac{y}{R_0} = 1 \quad (4.18)$$

kde je: R_0 - výstupní poloměr

w_0 - výstupní rychlost

Rovnici (4.18) lze po úpravě napsat ve tvaru:

$$\left(\frac{w_{\max}}{w_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_{\text{mez}}}{R_0} \right)^2 \cdot 2 \cdot \int_0^1 \left(\frac{w}{w_{\max}} \right)^2 \cdot \eta \cdot d\eta = 1 \quad (4.19)$$

Integrál bude mít konstantní hodnotu (viz. tab. 4.2), kterou lze numericky vyjádřit podle vzorce:

$$\int_0^1 \left(\frac{w}{w_{\max}} \right)^n \cdot \eta \cdot d\eta = Q \quad (4.20)$$

n	1	1,5	2	2,5	3
Q	0,0985	0,0640	0,0464	0,0359	0,0286

Tab. 4.2

Potom rovnice (4.19) přejde na tvar:

$$\frac{R_{\text{mez}}}{R_0} = 3,3 \cdot \frac{w_0}{w_{\max}} \quad (4.21)$$

Hranice proudu jsou omezeny paprskem:

$$\varphi_{\text{mez}} = \frac{R_{\text{mez}}}{a \cdot x} \quad (4.22)$$

kde je: a - součinitel, jehož hodnota je určována experimentálně

Z teorie lze určit hodnotu φ_{mez} ; pro kuželový proud je $\varphi_{\text{mez}} = 3,4$ takže:

$$\frac{R_{\text{mez}}}{R_0} = \frac{3,4 \cdot a \cdot x}{R_0} \quad (4.23)$$

A rovnici (4.21) můžeme napsat ve tvaru:

$$\frac{w_{\max}}{w_0} = \frac{3,3}{3,4} \cdot \frac{R_0}{a \cdot x} = 0,96 \cdot \frac{R_0}{a \cdot x} \quad (4.24)$$

Z toho plyne, že rychlost v ose symetrického proudu je nepřímo úměrná odlehlosti:

$$w_{\max} = \frac{\text{konst.}}{x} \quad (4.25)$$

Pro určení úsečky přechodného průřezu použijeme rovnice (4.24) a podmínky:

$$w_{\max p} = w_0$$

$$\frac{a \cdot x_p}{R_0} = 0,96 \quad (4.26)$$

kde je : $w_{\max p}$ - maximální rychlost v ose proudu v místě přechodného průřezu
 x_p - odlehlost přechodného průřezu od pólu proudu

Budeme - li předpokládat, že rozšiřování proudu je v počáteční i hlavní oblasti stejné, můžeme nalézt vzdálenost pólu proudu od výtokového průřezu x_0 :

$$\frac{a \cdot x_0}{R_0} = 0,29 \quad (4.27)$$

A vzdálenost výtokového a přechodového průřezu x_s je jejich rozdíl:

$$\frac{a \cdot x_s}{R_0} = 0,96 - 0,29 = 0,67 \quad (4.28)$$

Ve výše uvedených rovnicích se uvažovala odlehlost daného průřezu x od pólu proudu. Chceme - li uvažovat tuto vzdálenost od výtokového průřezu, musíme v rovnicích zaměnit:

$$\frac{a \cdot x}{R_0} = \frac{a \cdot x_s}{R_0} + 0,29 \quad (4.29)$$

Rovnice (4.24) pak bude mít tvar:

$$\frac{w_{\max}}{w_0} = \frac{0,96}{\frac{a \cdot x_s}{R_0} + 0,29} \quad (4.30)$$

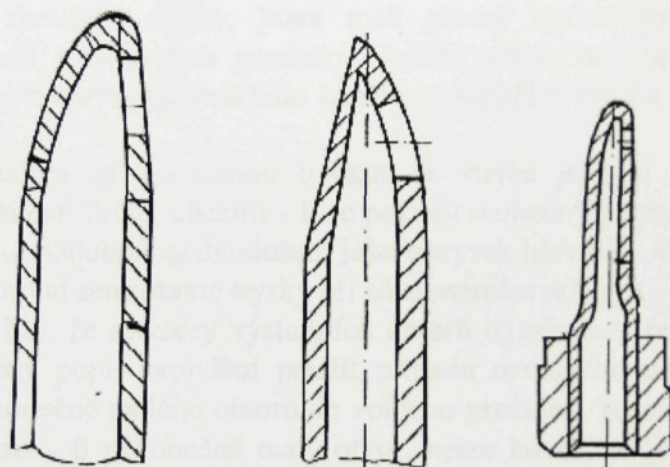
Teoreticky lze sestavit i nadzvukovou hlavní trysku, ale prakticky zatím nebyla na strojích realizována, vzhledem ke složitosti výroby a díky přítomnosti útkové nitě v proudícím vzduchu i nedosažitelnosti maximální rychlosti.

4.2 Pomocné trysky

Hlavním úkolem pomocných trysek je hradit energetické ztráty nosného proudu nebo nosný proud přímo vytvářet. Z toho vyplývá, že pomocné trysky musejí být v době prohozu uvnitř prošlupu.

Trysky se podél prohozního kanálu rozmisťují podle použitého prohozního systému. U velkých pracovních šířek, kde samy vytvářejí nosný proud, jsou rozmisťovány po celé šířce stroje v pravidelných roztečích. Používáme - li konfuzorů, můžeme trysky umístit pouze na doletové straně, případně po celé šířce prošlupu se zmenšující se roztečí směrem k doletové straně, apd.

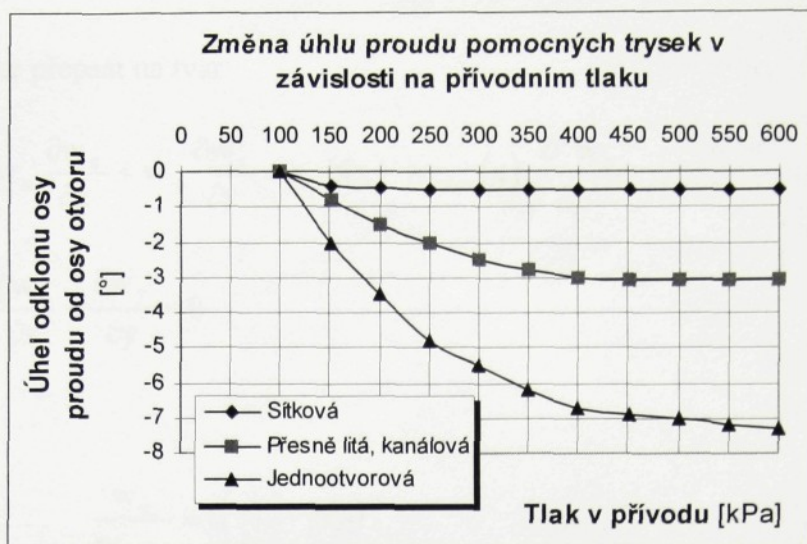
Trysky se nepřetržitě pohybují mezi osnovními nitěmi - před prohozem útku se zasouvají do prošlupu; po prohozu se vysouvají mimo osnovní nitě, aby byl umožněn příraz útku. Proto chceme, aby trysky měly co možná nejmenší vnější rozměry a abrazivně odolný, hladký povrch. Tomu nejlépe vyhovují dnes nejpoužívanější tenkostěnné pomocné trysky jednotvorové (viz. obr. 4.3).



Obr. 4.3

Různé typy pomocných jednotvorových trysek.

Z obrázku je patrné, že průtočný kanál těchto trysek není přesně definován, tak aby byl proud vzduchu ideálně veden k výstupnímu průřezu. Tato skutečnost je příčinou toho, že dochází k odtrhávání proudu, ztrátovým jevům a také k nepříjemné směrové závislosti vystupujícího proudu na tlakových poměrech na trysce. Jistou výjimkou v této kategorii trysek jsou víceotvorové trysky tzv. sítkové, jejichž směrová závislost proudu na tlakovém spádu je minimální. Směrové závislosti tří různých druhů trysek jsou uvedeny v grafu 4.1.



Graf 4.1

Směrové závislosti tří různých druhů trysek na tlakových poměrech.

Proto byli zkoušeny trysky, které měli přesně definované průtokové kanály, vytvořené na základě teoretických poznatků. Jejich velkou nevýhodou jsou však větší vnější rozměry dané tvarováním vnitřního kanálu a složitější výroba technologií přesného lití.

Reálné proudění za pomocnou tryskou je stejně jako u hlavní trysky velmi komplikovaná záležitost. Proto, chceme - li se pokusit o obecný popis proudění za tryskou, jsme nuceni přijmout obdobná zjednodušení jako u trysek hlavních. Omezíme se tedy opět na volný zatopený proud samostatné trysky při stacionárním režimu.

Obecně lze říci, že rozměry výstupních otvorů trysek jsou relativně velmi malé a proto lze pro obecný popis proudění použít případu rovinného turbulentního paprsku, vycházejícího z nekonečně malého otvoru do volného prostoru. To nám značně zjednoduší řešení, protože máme - li nekonečně malý otvor, nelze hovořit o jeho charakteristickém rozměru. Proto se nám v okrajových podmínkách neobjeví šířka mezery a problém lze řešit pomocí obyčejné diferenciální rovnice.

Pohybové rovnice lze psát ve tvaru analogickém rovnicím turbulentní mezní vrstvy:

$$w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left(A \cdot \frac{\partial w_x}{\partial y} \right) = \frac{A}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} \quad (4.31)$$

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} = 0 \quad (4.32)$$

kde je: $A = k \cdot \rho \cdot b \cdot |w_{x2} - w_{x1}|$ součinitel turbulentního směšování

k - empiricky stanovená konstanta

b - šířka oblasti turbulentního směšování

w_x - podélná složka rychlosti

w_y - příčná složka rychlosti

x - odlehlost od ústí trysky

y - odlehlost od osy proudu

Tyto rovnice lze přepsat na tvar:

$$w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} = k \cdot b(x) \cdot w_{x\max}(x) \cdot \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} \quad (4.31')$$

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} = 0 \quad (4.32')$$

Dále zavedme : $\frac{w_x}{w_{x\max}} = f\left(\frac{y}{b}\right) = f(\eta) \quad (4.33)$

kde je : b - šířka paprsku

$w_{x\max}$ - maximální podélná rychlost v ose proudu

Po dosazení do rovnic (4.31') a (4.32') a po jednoduché úpravě dostaneme vztah:

$$w_{x\max} \frac{dw_{x\max}}{dx} \left[f^2(\eta) - f(\eta) \int_0^\eta f(\eta) d\eta \right] + \quad (4.34)$$

$$+ \frac{w_{x\max}^2}{b} \cdot \frac{db}{dx} \left[f(\eta) \int_0^\eta \eta \cdot f(\eta) d\eta - \eta \cdot f(\eta) \cdot f(\eta) \right] = \frac{k \cdot w_{x\max}^2}{b} \cdot f'(\eta)$$

Pro zjednodušení zavedme: $F(\eta) = \int_0^\eta f(\eta) d\eta \quad (4.35)$

Potom můžeme rovnici (4.34) přepsat do tvaru:

$$w_{x\max} \frac{dw_{x\max}}{dx} (F'^2 - FF'') - \frac{w_{x\max}^2}{b} \cdot \frac{db}{dx} FF'' = k \frac{w_{x\max}^2}{b} F''' \quad (4.36)$$

Protože oblast proudu považujeme za "mezní vrstvu" (tedy oblast, kde se střední podélná rychlost nerovná nule), můžeme předpokládat, že tlak je v celé oblasti proudění stejný. Na základě toho bude průmět vektoru hybnosti v libovolném průřezu paprsku do osy stejný. Dostaneme tak:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \rho w_x^2 dy = \text{konst.} \quad (4.37)$$

Po dosazení ze vzorce (4.33) dostaneme:

$$\rho \cdot w_{x\max}^2 \cdot b \int_{-\infty}^{+\infty} f^2(\eta) d\eta = \text{konst.} \quad (4.38)$$

nebo: $w_{x\max}^2 \cdot b = \text{konst.} \quad (4.39)$

Zderivujeme obě strany této rovnice podle x:

$$2w_{x\max} \frac{dw_{x\max}}{dx} b + w_{x\max}^2 \frac{db}{dx} = 0 \quad (4.40)$$

Potom můžeme rovnici (4.36) napsat ve tvaru:

$$\frac{db}{dx} (F'^2 + FF'') = -2kF''' \quad (4.41)$$

A z podmínky nezávislosti proměnných x a η můžeme napsat zákon pro změnu šířky paprsku b :

$$b = cx \quad (4.42)$$

kde je: c - konstanta, nezávislá na okrajových podmínkách
x - odlehlost od ústí trysky

Po dosazení této rovnice do vztahu (4.39) lze nalézt závislost maximální osové rychlosti na odlehlosti x:

$$w_{x\max} = \frac{\text{konst.}}{\sqrt{x}} \quad (4.43)$$

Dále chceme znát závislost příčné respektive podélné složky rychlosti. Vyjdeme ze vztahu pro změnu součinitele turbulentního tření A:

$$A = k \cdot \rho \cdot w_{x\max} \cdot b = k \cdot c \cdot \rho \cdot x \cdot w_{x\max} = \text{const} \cdot \sqrt{x} \quad (4.44)$$

Úpravami lze dostat rovnici: $F'^2 + FF'' = -\frac{2k}{c} F''' \quad (4.45)$

Po integraci dostaneme: $F' = -\frac{c}{4k} F^2 + C_1\eta + C_1 \quad (4.46)$

Integrační konstanty lze nalézt z okrajových podmínek:

při	$\eta = 0$	$F = 0$
při	$\eta = 0$	$F'' = 0$
při	$\eta = 0$	$F' = 1$

Potom bude derivace $\frac{\partial w_x}{\partial y} = 0$ a $w_x = w_{x \max}$. Rovnice (4.46) tak přejde na tvar:

$$F' = 1 - \frac{c}{4k} F^2 \quad (4.47)$$

a má řešení ve tvaru:
$$F = 2\sqrt{\frac{k}{c}} \cdot \operatorname{tgh}\left(\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{c}{k}} \cdot \eta\right) \quad (4.48)$$

A odtud lze pro příčnou složku rychlosti psát:

$$w_y = c \cdot w_{x \max} \left[\eta \cosh^{-2}\left(\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{c}{k}} \cdot \eta\right) - \sqrt{\frac{k}{c}} \operatorname{tgh}\left(\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{c}{k}} \cdot \eta\right) \right] \quad (4.49)$$

A pro podélnou složku:
$$w_x = w_{x \max} F'(\eta) = w_{x \max} \cosh^{-2}\left(\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{c}{k}} \cdot \eta\right) \quad (4.50)$$

kde s výhodou označíme hodnotu $y \rightarrow Y$, při níž $w_x = \frac{1}{2} w_{x \max}$

Pak můžeme rovnici (4.50) napsat ve tvaru:
$$w_x = w_{x \max} \cosh^{-2}\left(0,88 \cdot \frac{y}{Y}\right) \quad (4.51)$$

5. Laserová anemometrie

Laserové anemometry neměří přímo rychlost proudící tekutiny, ale rychlost částic unášených proudem. Rychlost tedy lze měřit jen za předpokladu, že částice unášené tímto proudem mají rychlost proudu.

Tato anemometrie je bezkontaktní metodou nezávislou na změnách teploty a tlaku tekutiny; je dokonale lineární nevyžadující jakoukoli kalibraci. Nepotřebuje mechanický přístup k měřicímu místu a žádným způsobem nenarušuje proud.

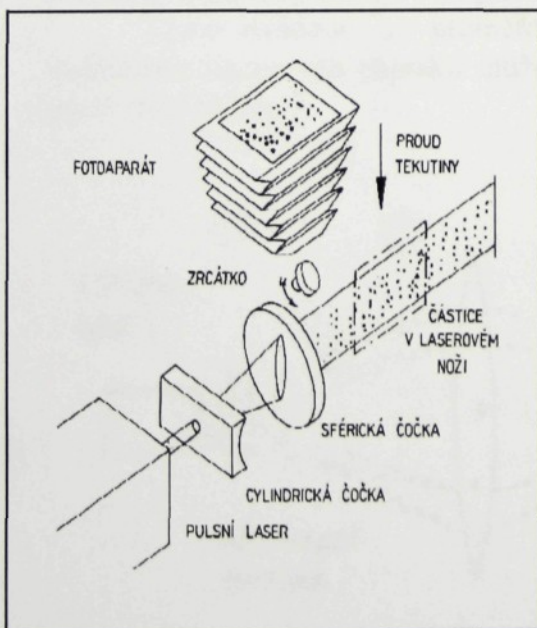
V současné době se používají tři základní druhy laserové anemometrie:

- Obrazová anemometrie částic - **PIV**
- Laserová dvojohnisková anemometrie - **L2F**
- Laserová dopplerovská anemometrie - **LDA**

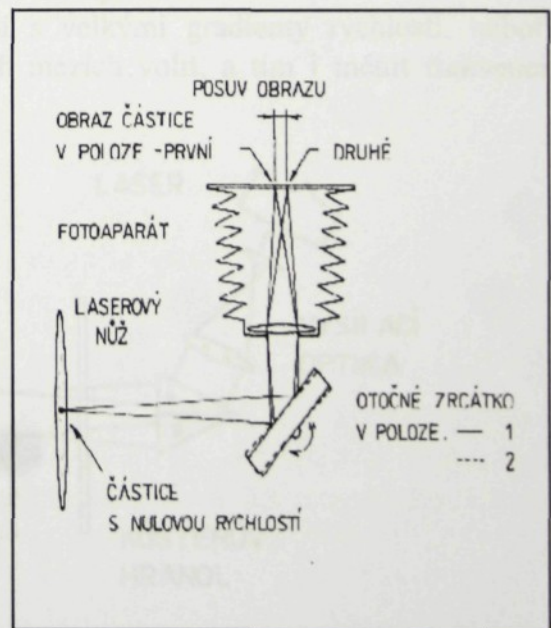
5.1 Obrazová anemometrie částic - PIV

Jedná se, na rozdíl od ostatních metod, o vizualizační metodu, která nám poskytuje okamžitou informaci o rychlostním poli v proměřované rovině.

K měření je používán pulzní laser, jehož paprsek je pomocí optické soustavy převeden do rovinného světelného útvaru nazývaného laserový nůž (viz. obr. 5.1). Nůž je nastaven tak, aby jeho osa byla kolmá k ose proudu. Světlo odražené od částic procházejících nožem snímáme fotoaparátem umístěným podle obr. 5.2



Obr. 5.1



Obr. 5.2

Schéma uspořádání PIV anemometru

Snímání světla probíhá ve dvou fázích. V první fázi, když je zrcátko v poloze 1, se otevře uzávěrka fotoaparátu a obraz se zaznamená na negativní materiál. Ve druhé fázi se zrcátko pootočí do polohy 2 a otevřením uzávěrky fotoaparátu se obraz, který je však posunutý, zobrazí na totéž políčko fotografického filmu. Po vyvolání filmu se zhotoví fotografie, které jsou podkladem pro analýzu, která nám umožní získat 2D vektorové pole rychlostí v rovině laserového nože. Analýzu provádí výpočetní technika vybavená příslušným softwarem.

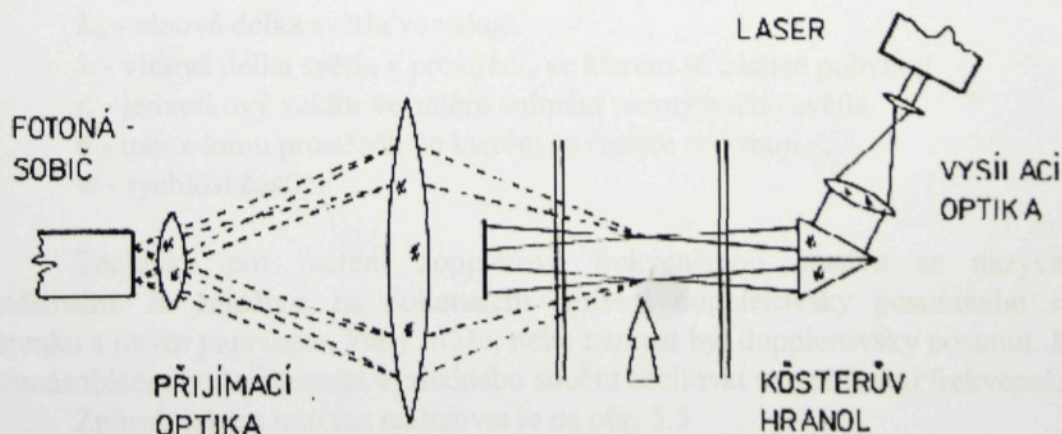
5.2 Laserová dvojnisková anemometrie - L2F

Laserová dvojnisková anemometrie používá k měření dvou rovnoběžných laserových paprsků o velmi malém průměru, které tvoří optické sondy (viz. obr. 5.3). Částicí odražené světlo, která prolétne jak první, tak i druhou sondou je zaznamenáno fotonásobičem v podobě dvou pulzů. Základem určování rychlosti je tedy měření času t , který potřebuje částice na průlet mezi oběma sondami. Známe - li přesnou vzdálenost sond l , lze snadno vypočítat rychlost podle vztahu:

$$w = \frac{l}{t} \quad [\text{m} / \text{s}]$$

Z tohoto plyne, že L2F měří pouze ty rychlosti, které směřují do směru nastaveného dvěma laserovými paprsky. Jisté problémy nastávají při měření turbulentních proudů, kde rychlé změny směru proudění způsobují nárůst počtu takových částic, které neprojdou oběma světelnými paprsky. To výrazným způsobem snižuje četnost dat.

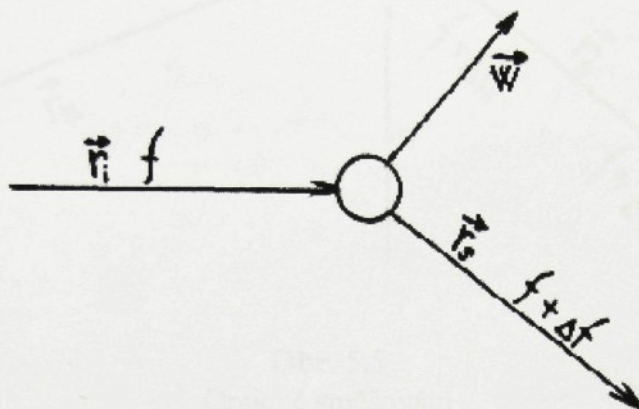
Touto metodou lze proměřovat proudění s velkými gradienty rychlosti, neboť vzdálenost laserových paprsků můžeme v jistých mezích volit, a tím i měnit frekvenci pulzů (čas průletu).



Obr. 5.3
Schéma uspořádání L2F anemometru

5.3 Laserová dopplerovská anemometrie - LDA

Laserová dopplerovská anemometrie je nejpoužívanější optickou anemometrickou metodou, založenou na využití dopplerova jevu. Díky dopplerovu jevu je frekvence světla rozptýleného na částici pohybující se vzhledem ke zdroji změněna o Δf , která závisí na rychlosti částice a geometrii rozptylu.



Obr. 5.4

Dopplerovský frekvenční posuv

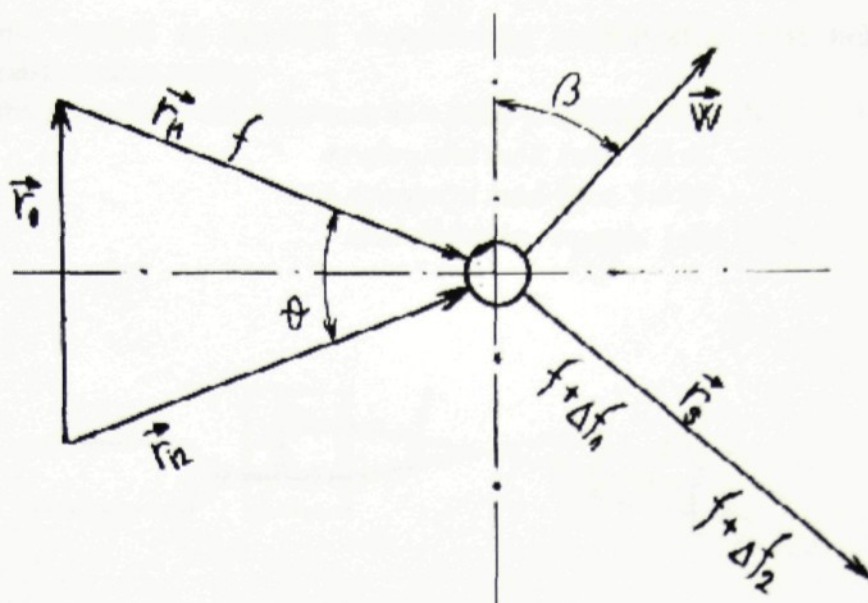
Obrázek 5.4 znázorňuje dopplerovský frekvenční posuv, který lze matematicky vyjádřit rovnicí :

$$\Delta f = \frac{n}{\lambda_0} \vec{w} \cdot (\vec{r}_s - \vec{r}_i) = \frac{\vec{w}}{\lambda} \cdot (\vec{r}_s - \vec{r}_i) \quad (5.1)$$

kde: Δf - dopplerův frekvenční posuv
 r_i - jednotkový vektor ve směru dopadajícího světla
 λ_0 - vlnová délka světla ve vakuu
 λ - vlnová délka světla v prostředí, ve kterém se částice pohybují
 r_s - jednotkový vektor ve směru snímání rozptýleného světla
 n - index lomu prostředí, ve kterém se částice pohybují
 w - rychlost částice

Technika pro měření dopplerova frekvenčního posuvu se nazývá optické směšování. Je založena na dokonalém smíšení dopplerovsky posunutého světelného paprsku s jiným paprskem, který může, nebo nemusí být dopplerovsky posunut. Po detekci fotonásobičem bude intenzita výsledného součtu oscilovat s rozdílovou frekvencí.

Způsob jakým toto lze realizovat je na obr. 5.5



Obr. 5.5
Optické směšování

S použitím vztahu (5.1) lze psát :

$$\Delta f_1 = \frac{\vec{w}}{\lambda} \cdot (\vec{r}_s - \vec{r}_{i1}) \quad (5.2)$$

$$\Delta f_2 = \frac{\vec{w}}{\lambda} \cdot (\vec{r}_s - \vec{r}_{i2}) \quad (5.3)$$

odkud
$$\Delta f_1 - \Delta f_2 = \frac{\vec{w}}{\lambda} \cdot (\vec{r}_{i2} - \vec{r}_{i1}) = \frac{\vec{w}}{\lambda} \cdot \vec{r}_0 \quad (5.4)$$

kde
$$|\vec{r}_{i2} - \vec{r}_{i1}| = 2 \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad (5.5)$$

z toho plyne že
$$f_D = \frac{\vec{w}}{\lambda} \cdot \cos(\beta) \cdot 2 \sin \frac{\theta}{2} \quad (5.6)$$

a po úpravě
$$f_D = \frac{2w_x}{\lambda} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad (5.7)$$

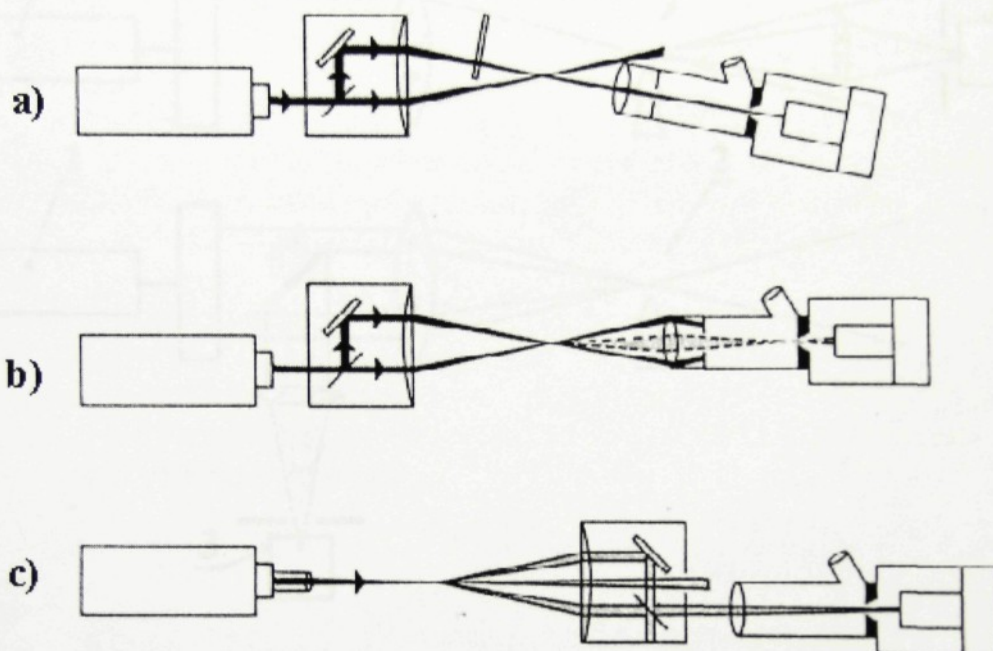
kde $f_D = \Delta f_1 - \Delta f_2$ - dopplerovská frekvence
 $w_x = w \cos \beta$ - složka rychlosti v do směru r_0

zároveň můžeme psát:
$$w_x = \frac{f_D \cdot \lambda}{2 \cdot \sin \theta/2} \quad (5.8)$$

Z toho vyplývá že laserová dopplerovská anemometrie měří průmět vektoru rychlosti do nastaveného směru.

K měření dopplerovské frekvence se v praxi používají tři módy :

- *referenční mód* (obr. 5.6 a)
- *diferenční mód* (obr. 5.6 b)
- *mód dvojitého rozptylu* (obr. 5.6 c)



Obr. 5.6

- a) - referenční mód
b) - diferenční mód
c) - mód dvojitého rozptylu

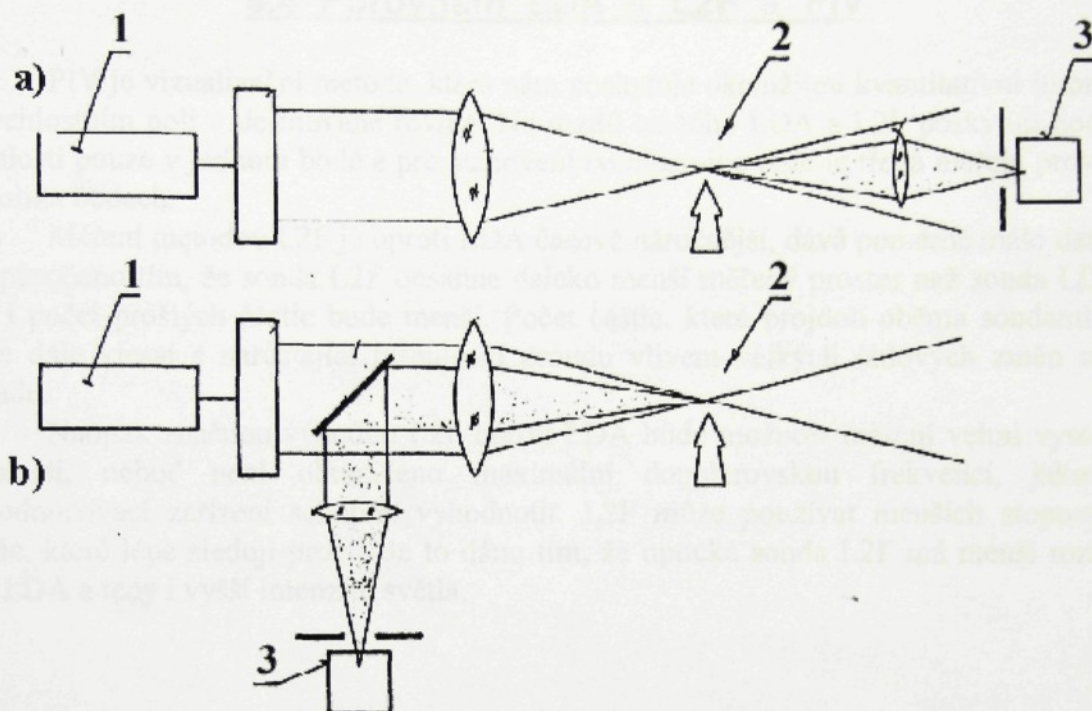
V technické praxi je nejpoužívanějším módem mód diferenční (obr. 5.6 b), který využívá směšování dvou rozptýlených paprsků. Je někdy také nazýván módem interferenčním, protože v průsečíku dvou laserových paprsků (v optické sondě) vznikají interferenční proužky. Prochází - li částice napříč sondou, protíná tedy střídavě světlé proužky a tmavé proužky. To se projeví oscilací intenzity odraženého světla. Následujícími vztahy lze dokázat, že frekvence s jakou bude intenzita oscilovat, je rovna dopplerovské frekvenci.

$$f' = \frac{w_x}{d_f} = f_D \quad (5.9)$$

kde $d_f = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin(\theta/2)}$ je vzdálenost interferenčních proužků

w_x - složka rychlosti do směru kolmého na interferenční proužky

Tento mód se s výhodou používá při menších koncentracích stopových částic v proudící tekutině. Měření můžeme provádět buď v proslém světle (viz. obr. 5.7 a), nebo odraženém světle (viz. obr. 5.7 b).



Obr. 5.7 Diferenční mód

a) měření v proslém světle b) měření v odraženém světle
(1 - zdroj laserového světla, 2 - optická sonda, 3 - fotonásobič)

Výhodou měření v odraženém světle je možnost měřit i tehdy, je-li měřený prostor přístupný pouze z jedné strany. Vyžaduje to však větší výkon laseru (větší světelnou intenzitu).

Provozně jednodušším uspořádáním je mód referenční (obr. 5.6 a), který využívá směšování rozptýleného světla a světla ze zdroje. Je vhodný pro velké koncentrace stopových částic.

Běžné uspořádání laserového dopplerovského anemometru je schopno měřit rychlost co do její velikosti, nikoli směru. Proto, neznáme-li orientaci proudu, je třeba do měřicí sestavy zařadit Braggovu buňku. Braggova buňka je akusticko optický modulátor, využívající interakce světla a ultrazvuku o vysoké frekvenci, který nám způsobí „pohyb“ interferenčních proužků v optické sondě. Potom přestane platit, že nulová rychlost je rovna nulové dopplerovské frekvenci f_D , nýbrž f_D bude rovna frekvenci f_0 dané pohybem interferenčních proužků. Proto, bude-li se částice pohybovat ve směru (respektive proti)

směru pohybu interferenčních proužků, bude výsledná dopplerovská frekvence f_D zmenšena (respektive zvětšena) o f_0 .

5.4 Porovnání LDA s L2F a PIV

PIV je vizualizační metoda, která nám poskytuje okamžitou kvantitativní informaci o rychlostním poli v definované rovině. Na rozdíl od toho LDA a L2F poskytují hodnoty rychlostí pouze v jednom bodě a pro stanovení rychlostního pole je třeba měření provést v několika bodech.

Měření metodou L2F je oproti LDA časově náročnější, dává poměrně málo dat, což je způsobeno tím, že sonda L2F obsáhne daleko menší měřený prostor než sonda LDA, a tím i počet prošlých částic bude menší. Počet částic, které projdou oběma sondami L2F bude dále klesat s narůstající turbulencí proudu vlivem velkých úhlových změn směru proudu.

Naopak značnou výhodou L2F oproti LDA bude možnost měření velmi vysokých rychlostí, neboť není ohraničeno maximální dopplerovskou frekvencí, jakou je vyhodnocovací zařízení schopno vyhodnotit. L2F může používat menších stopovacích částic, které lépe sledují proud. Je to dáno tím, že optická sonda L2F má menší rozměry než LDA a tedy i vyšší intenzitu světla.

6. Laserový dopplerovský anemometr

V současné době jsou tyto přístroje nejčastěji vyráběny jako stavebnice. Z jednotlivých dílů si potom můžeme sestavit optickou sestavu, která bude nejlépe vyhovovat danému experimentu.

LDA se principiálně skládá ze dvou částí:

- *optická část LDA*
- *vyhodnocovací část LDA*

6.1 Optická část LDA

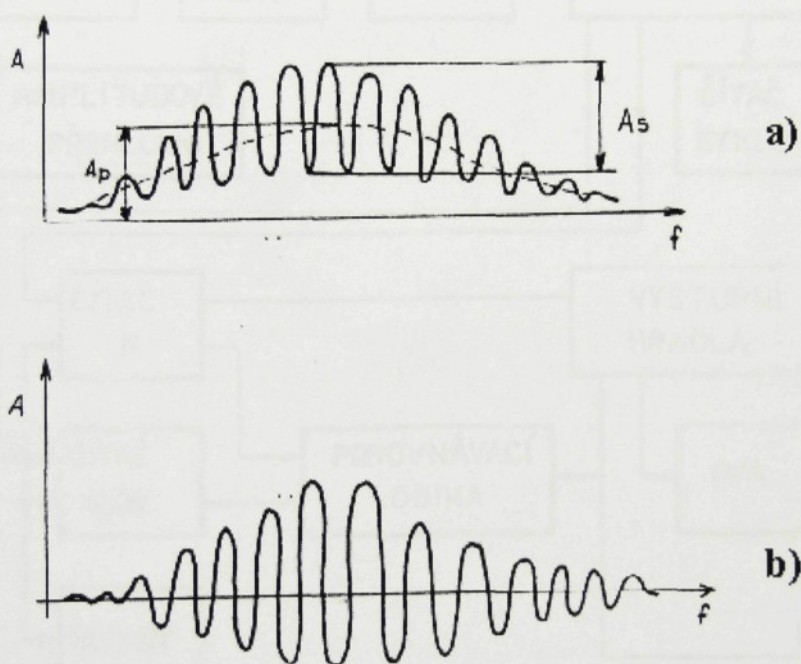
Základem optické části LDA je argonový laser. Většinou se jedná o laser s dostatečným výkonem, umožňující realizaci nejuniverzálnější sestavy LDA se zpětným rozptylem. Nejpoužívanějším způsobem měření je měření s dvojítm paprskem - diferenční mod. Paprsek laseru je opticky rozdělen na dva, které jsou vysílacím objektivem soustředěny do ohniska, kde nám jejich průsečík vytvoří optickou sondu.

Dalším důležitým prvkem optické části LDA je přijímací objektiv, který soustřeďuje snímané světlo na fotonásobič.

Do optické části také patří Braggova buňka (viz. kapitola 5.3)

6.2 Vyhodnocovací část LDA

Základem vyhodnocovací části LDA je fotonásobič, který transformuje optický dopplerovský signál na signál elektrický. Tento signál se vyznačuje proměnnou amplitudou danou rozložením intenzity světla v sondě, poměrně krátkou dobou výskytu, vysokými frekvencemi (řádově desítky až stovky MHz), nespojitostí a značným obsahem šumu, způsobeným fotonásobičem, ale i jevy v měřicím prostoru, které nejsou předmětem experimentu. Charakteristický průběh signálu je na obr. 6.1a



Obr.6.1

Charakteristický průběh dopplerovského signálu

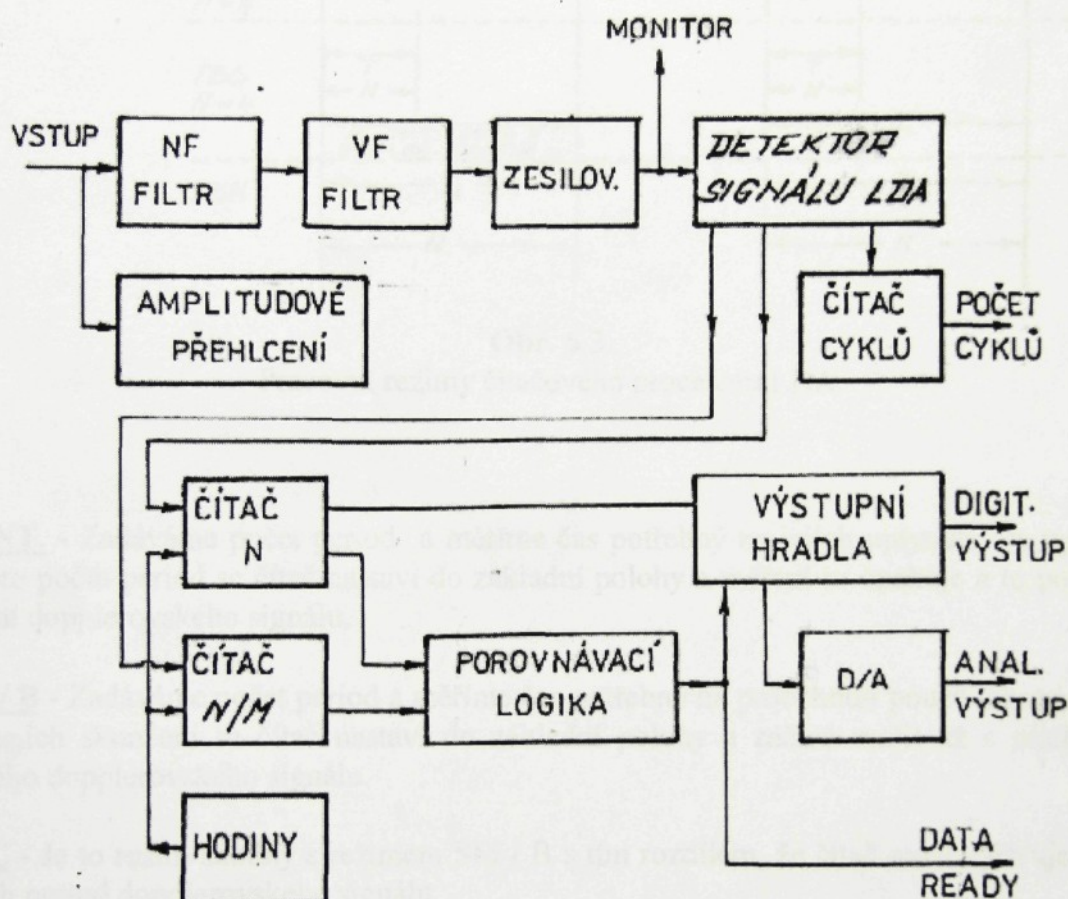
- a) LDA signál před filtrací
- b) LDA signál po filtraci

Z těchto důvodů se k zjištění frekvence používají následující speciální signálové procesory:

- čítačový procesor
- analyzátor spektra dopplerovského vzryvu - BSA

6.2.1 Čítačový procesor

Je to digitální přístroj schopný měřit frekvenci až do 200 MHz a to i v případě nespojitého signálu. Je založen na měření času potřebného k proběhnutí zadaného počtu period. Schéma čítačového procesoru je na obr. 6.2

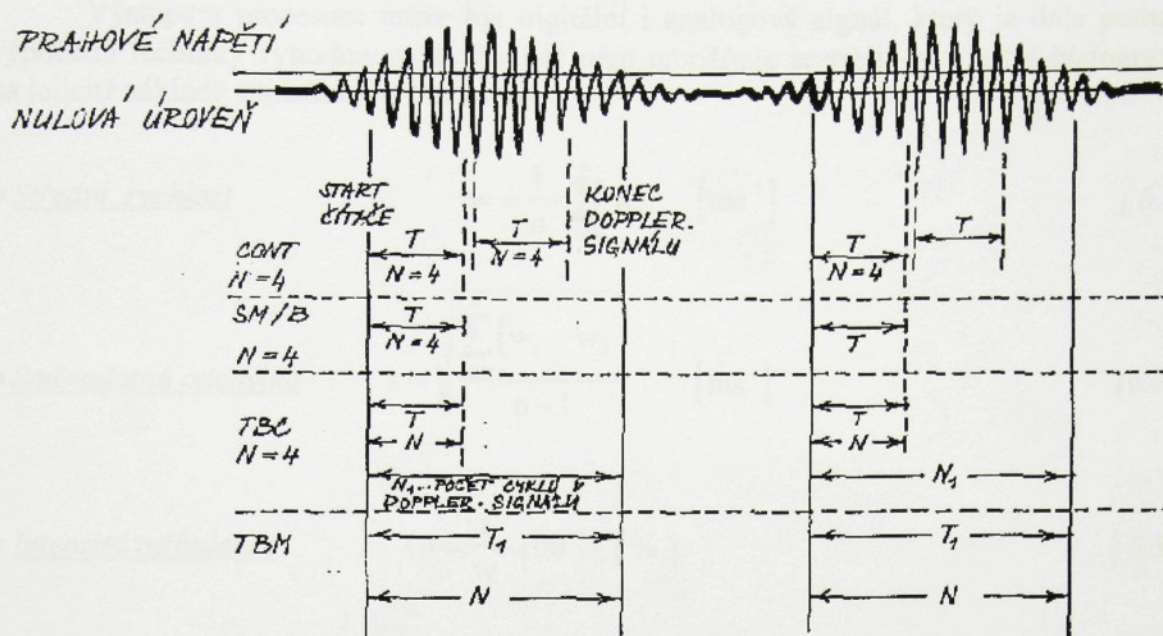


Obr. 6.2

Schéma čítačového procesoru LDA

Signál fotodetektoru nejprve projde přes nízkofrekvenční a vysokofrekvenční filtry, které odstraní nízkofrekvenční základnu resp. nežádoucí šum. Vhodně zesílený signál se pak přivádí do detektoru vzryvu, který přetransformuje sinusový průběh signálu na signál obdélníkový, přičemž jeho perioda je shodná s periodou dopplerovského signálu.

Pro další zpracování signálu nabízí procesor celkem čtyři pracovní režimy, které jsou přehledně znázorněny na obrázku 6.3



Obr. 6.3

Pracovní režimy čítačového procesoru LDA

CONT. - Zadáváme počet period a měříme čas potřebný na jejich uplynutí. Po uplynutí tohoto počtu period se čítač nastaví do základní polohy a měření se opakuje a to po celou trvání dopplerovského signálu.

SM / B - Zadáváme počet period a měříme čas potřebný na proběhnutí pouze tohoto počtu. Po jejich skončení se čítač nastaví do základní polohy a začíná měřit až s příchodem nového dopplerovského signálu.

TBC - Je to režim shodný s režimem SM / B s tím rozdílem, že čítač navíc zjišťuje počet všech period dopplerovského signálu.

TBM - U tohoto režimu se nezadává počet period, neboť čítač měří čas trvání celého dopplerovského signálu a navíc zjišťuje počet všech period dopplerovského signálu.

Dobu průběhu nastaveného počtu period zjišťuje N čítač. Nastavení počtu period je možné v rozsahu $2^1 - 2^7$.

Současně s tímto čítačem pracuje ještě další čítač, který měří čas potřebný pro proběhnutí N/M period. V porovnávací logice se potom porovnává čas nutný pro proběhnutí N period s M násobkem času potřebného pro proběhnutí N/M period. Jako platné měření se bere to, u kterého jsou tyto časy shodné, s přesností, kterou lze v procentech na procesoru nastavit (1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15 nebo 20%).

Některé čítačové procesory mohou ještě zaznamenávat počet platných měření a celkový počet měření, jejichž poměr udává úspěšnost měření.

Výstupem procesoru může být digitální i analogový signál, který je dále pomocí výpočetní techniky vyhodnocován. Počítač nám umožňuje sestavit rychlostní histogramy na jejichž základě statisticky vyhodnocuje:

• Střední rychlost

$$w = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n w_i \quad [\text{ms}^{-1}] \quad (6.1)$$

• Směrodatná odchylka

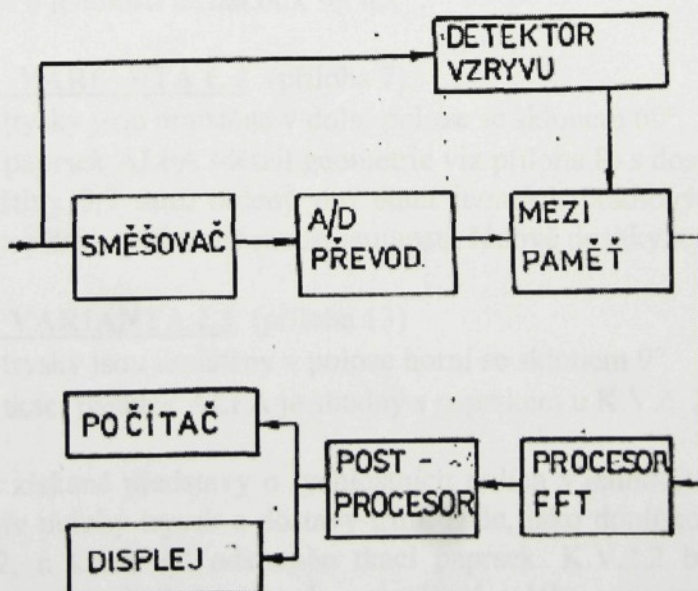
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i - w)^2}{n - 1}} \quad [\text{ms}^{-1}] \quad (6.2)$$

• Intenzita turbulence

$$Tu = \frac{s}{w} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6.3)$$

6.2.2 Analyzátor spektra dopplerovského vzryvu - BSA

Je to přístroj, který k analýze dopplerovského signálu používá rychlé fourierovy transformace (FFT). Jeho největší výhodou je, že dokáže pracovat i při velmi malém odstupu signálu od šumu a to i takovém, kdy už nelze používat čítačové procesory. Schéma přístroje je na obr. 6.4.



Obr. 6.4

Schéma analyzátoru spektra dopplerovského vzryvu

Vstupní signál je zpracováván ve dvou větvích. V první je signál elektronicky směřován s předem nastavenou frekvencí, aby mohl být rychlým A/D převodníkem

zdigitalizován. Výsledek je uložen do mezipaměti. Ve druhé větvi je signál přiveden na detektor vzryvu, který rozhoduje o tom, zda je signál signálem dopplerovského vzryvu.

Zdigitalizovaný signál je potom zpracováván FFT procesorem, jehož výstupem je čárové spektrum. Při výpočtu dopplerovské frekvence se toto spektrum nahradí parabolou, a dopplerovská frekvence je potom vypočtena jako souřadnice vrcholu paraboly.

7. Experimentální měření

Měření bylo realizováno metodou laser - dopplerovské anemometrie. Cílem bylo vyšetření rychlostních polí ve vodícím kanále profilových tkacích paprsků BETA a ALFA (viz přílohy 2,8). Paprsek ALFA byl proměřován s tryskami v poloze horní a dolní. Paprsek BETA, z důvodu odlišné geometrie, byl zkoumán pouze v provedení s tryskami v poloze horní. Pro zjednodušení jsem proto zavedl označení jednotlivých variant podle následující charakteristiky:

KONSTRUKČNÍ VARIANTA č. 1 (příloha 1)

- pomocné trysky jsou umístěny v horní poloze se sklonem 9°
- profilový tkací paprsek BETA (detail geometrie viz. příloha 2) s dostavou 5 třtin na 10 mm a tloušťkou třtiny 0,7 mm je určený především pro výrobu technických tkanin ze skleněných či syntetických materiálů, ať už v podobě hedvábí, kabílků, plochých pásků nebo ve formě příze o jemnosti až několik set tex¹⁾.

KONSTRUKČNÍ VARIANTA č. 2 (příloha 7)

- pomocné trysky jsou umístěné v dolní poloze se sklonem 60°
- profilový paprsek ALFA (detail geometrie viz příloha 8) s dostavou 20 třtin na 10 mm a tloušťkou třtiny 0,3 mm, určený pro tkaní jemných prádlových tkanin převážně bavlnářského typu z přízi o podstatně menší jemnosti, řádově desítky tex.

KONSTRUKČNÍ VARIANTA č.3 (příloha 13)

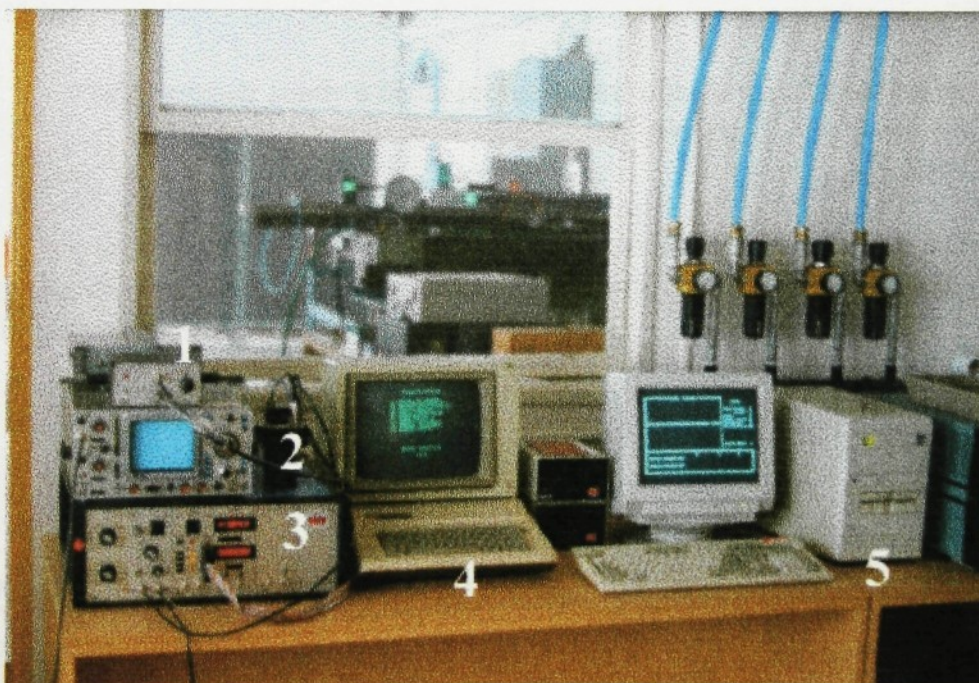
- pomocné trysky jsou umístěny v poloze horní se sklonem 9°
- profilový tkací paprsek ALFA je shodný s paprskem u K.V.č. 2

Na základě získané představy o rychlostních polích v jednotlivých případech bylo možné posoudit vliv polohy trysek a dostavy třtin. Dále, jako doplňkové, bylo provedeno měření na K.V.č.2, u které byl odstraněn tkací paprsek. K.V.č.2 byla k tomuto účelu vybrána zcela záměrně, neboť dovolovala proměření celého rozsahu rozteče. Výsledky posloužily k získání spíše informativní představy o zesilujícím účinku paprsku.

¹⁾ tex je jednotka vyjadřující jemnost délkových textilií a je definován jako podíl mezi hmotností a délkou délkové textilie

7.1 Popis podmínek měření, použitých přístrojů a nastavení jejich parametrů

Měření bylo provedeno laserovým dopplerovským anemometrem firmy TSI pracujícím v diferenčním módu se zpětným rozptylem. Generátorem záření byl výkonový argonový laser SPEKTRA - PHYSIC MODEL 165. Během celého experimentu byl naladěn na vlnovou délku zeleného světla 514,5 nm a výkon 300 mW. Optický signál byl snímán fotonásobičem TSI Model 9162. K vyhodnocení signálu LDA se používal čítačový procesor TSI Model 1990B. Procesor pracoval v režimu SM/B s rozsahem 2^3 period na jeden vzrýv s nastavenou přesností pro uznání platného měření 5 %. Výstupní data procesoru byla zpracovávána na počítači Apple IIe, který mimo jiné také řídil začátek a konec měření. Rychlost a intenzita turbulence byly zjišťovány statistickým zpracováním rychlostních histogramů, které počítač vytvářel z 1024 platných měření (možno nastavit 256, 512, 1024, 2048, 4096 nebo 6140 platných měření).



Obr. 7.1

Vyhodnocovací část laserového dopplerovského anemometru

- 1 - zdroj fotonásobiče
- 2 - fotonásobič TSI Model 9162
- 3 - čítačový procesor TSI Model 1990B
- 4 - počítač Apple IIe
- 5 - počítačem řízený posuv traverzovacího zařízení

U každé konstrukční varianty bylo použito 10 pomocných tenkostěnných trysek s výstupním otvorem $\varnothing 1,5$ mm, o rozteči 57 mm; 6 bylo umístěno před měřenou oblast tak, aby byl zaručen dokonalý rozběh proudu ve vodicím kanále. Měření bylo provedeno

bez vkládací trysky, neboť výsledky měření mají vést k posouzení vlivu dostavy profilovaných třtin tkacího paprsku, jakož i vlivu umístění pomocných trysek vůči vodicímu kanálu na proudové pole.

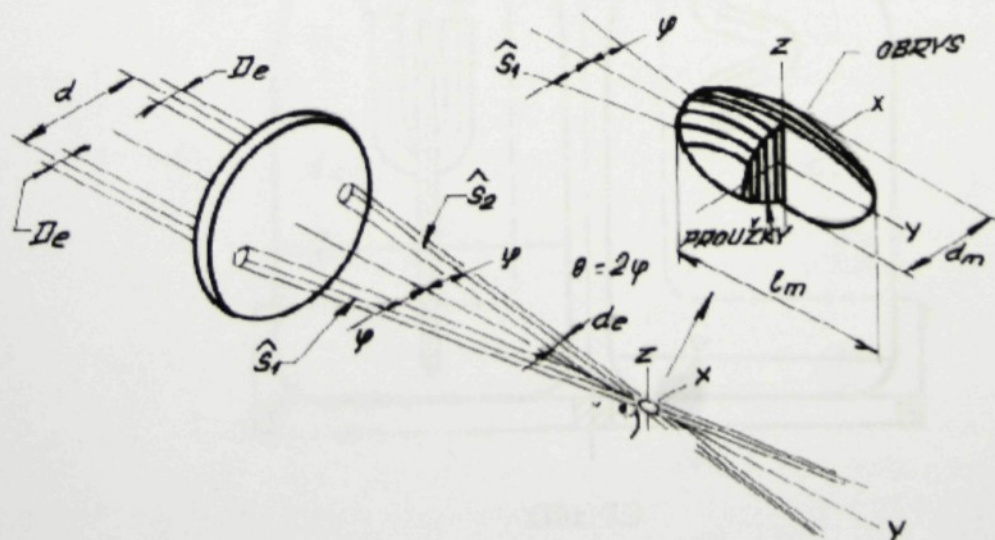
Proměření proudových polí v daných roztečích nemohlo být realizováno v celém rozsahu rozteče s výjimkou konstrukční varianty č.2 . První proměřovaná rovina byla vždy 14 mm od trysky a poslední 14 mm před následující tryskou. Toto omezení je způsobeno umístěním trysek v horní poloze (konstrukční varianta č.1 a č.3), jejichž tělesa brání optickému přístupu laserových paprsků. Řešení, jak prodloužit proměřovanou oblast v rozteči, je použití vysílacího objektivu s větší ohniskovou vzdáleností. V tabulce 7.1 je přehledně znázorněna závislost délky proměřované oblasti na ohniskové vzdálenosti objektivu.

Ohnisková vzdálenost [mm]	Příčný rozměr sondy [mm]	Délka proměřitelné oblasti [mm]
121,5	0,341	29
250,1	1,429	41
401,7	3,678	45,5
602,1	8,257	48,2

Tab. 7.1

Příčný rozměr sondy a délka proměřitelné oblasti v závislosti na ohniskové vzdálenosti vysílacího objektivu

Toto jednoduché řešení však naráží na problém příčné velikosti optické sondy. S rostoucí ohniskovou vzdáleností příčný rozměr sondy roste (viz. tab. 7.1). Její geometrie je dobře patrna z obr. 7.2



Obr. 7.2

Geometrie optické sondy

Kde je :

$$d_m = \frac{4 \cdot \lambda \cdot f}{\pi \cdot D_e \cdot \cos \varphi} \quad \text{podélný rozměr sondy}$$

$$l_m = \frac{4 \cdot \lambda \cdot f}{\pi \cdot D_e \cdot \sin \varphi} \quad \text{příčný rozměr sondy}$$

φ - poloviční úhel křížení paprsků

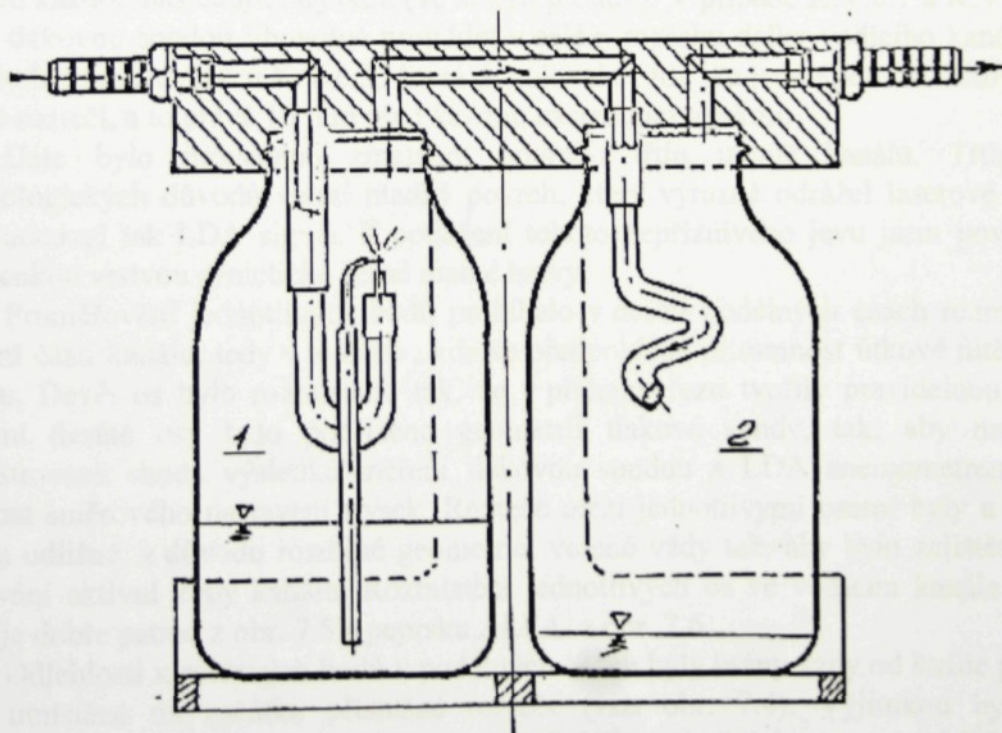
λ - vlnová délka světla

f - ohnisková vzdálenost vysílacího objektivu

D_e - průměr paprsku laserového světla

Velký příčný rozměr sondy je v případě měření blízko stěny kanálu nežádoucí, protože způsobuje vlivem odrazu od stěny kanálu nárůst optického šumu. V důsledku toho začnou být problémy se zpracováním signálu a přesnost měření tak klesá. Proto bylo rozhodnuto použít objektiv s poměrně malou ohniskovou vzdáleností $f = 121,5$ mm.

Jak už bylo pojednáno v kapitole 5, je při měření proudění plynů laserovým dopplerovským anemometrem nutné proud sytit vhodnými částicemi. V našem případě bylo použito přímé sycení tlakového vzduchu 40 % roztokem glycerínu pomocí generátoru aerosolu (viz. obr. 7.3), připojeného paralelně k hlavní větvi rozvodu tlakového vzduchu.



Obr. 7.3
Generátor aerosolu

Základem generátoru byla fixírka, kterou byl roztok glycerínu nasáván a roztrikován na částice o různých velikostech. Proud dále procházel spirálovitě stočenou trubkou, která vlivem odstředivých sil zajišťovala separaci velkých částic. Počet částic v proudu jsme

řídili pomocí regulačního šoupátka zařazeného v hlavní větvi rozvodu tlakového vzduchu; počet částic je závislý na tlaku vzduchu přiváděného do generátoru.

Laserový dopplerovský anemometr měří rychlost proudění pouze v jednom bodě definovaném optickou sondou. Chceme - li znát rychlostní pole rovinné popřípadě prostorové, je nutné měřit v několika bodech. Změnu vzájemné polohy optické sondy a měřeného prostoru nám zajišťovala k tomuto účelu upravená konzolová frézka FD 40V řízená počítačem, u které byl demontován vřeteník. Umožňovala změnu polohy ve třech souřadnicových osách v rozsahu 1250 x 350 x 450 mm, s přesností $\pm 0,02$ mm. Tím bylo zajištěno přesné a opakovatelné přemísťování optické sondy ve vodícím kanále.

Aby jednotlivé výsledky mohly být navzájem porovnatelné, musela jednotlivá měření probíhat za stejných podmínek. Základní podmínkou byl konstantní přetlak na tryskách, který vzhledem k technickým možnostem strojního zařízení byl nastaven na hodnotu 0,35 MPa (v praxi se zpravidla používá vyšších hodnot). Při tomto tlaku také probíhalo směrové nastavování trysek.

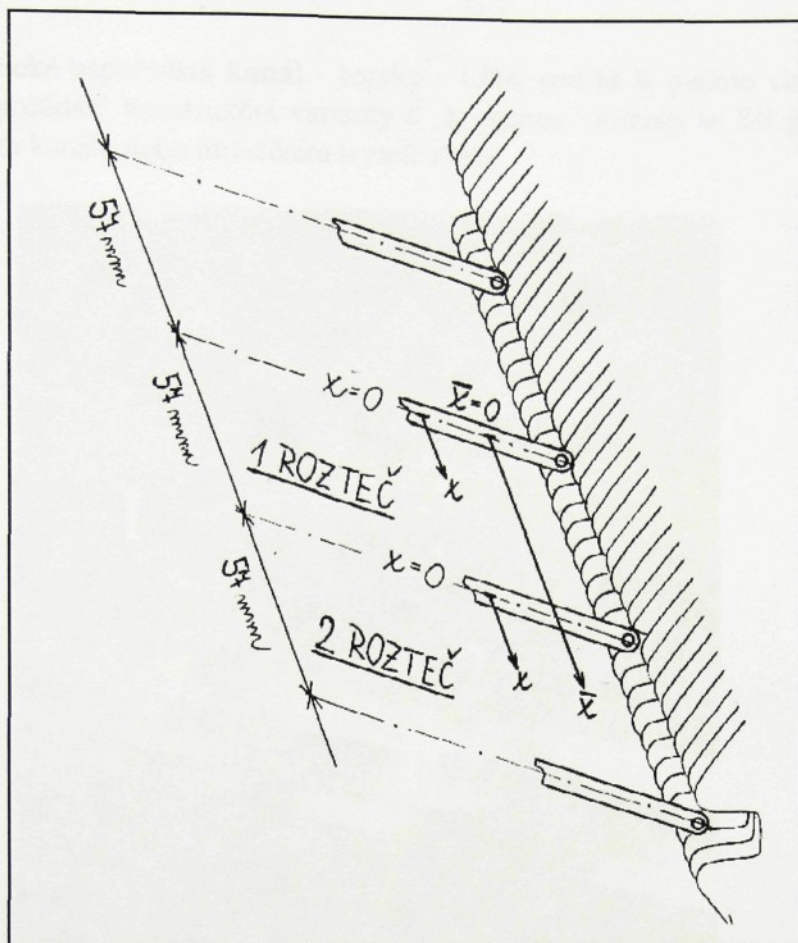
Nastavení trysek bylo nutné provést velmi pečlivě tak, aby průběh rychlosti v ose definované geometrii tlakové sondy byl pokud možno totožný ve všech roztečích. Proto jsem trysky nastavoval nejdříve pomocí tlakové sondy a snímače dynamického tlaku, zapůjčeného VÚTS, a následně kontroloval LDA anemometrem a v případě nutnosti nastavení trysek korigoval. V praxi se takto pečlivé nastavení z pochopitelných důvodů neprovádí, ale v případě, kdy chceme vzájemně porovnávat výsledky jednotlivých variant je to nezbytné, neboť by mohlo dojít ke zkreslení závěrů.

Jednotlivé varianty byly nastavovány tak, aby rychlost dosahovala svého maxima 10 mm před každou následující tryskou (ve směru proudu). V případě K.V.č.1 a K.V.č.2 bylo možno tlakovou sondou libovolně projíždět v celém rozsahu délky vodícího kanálu. Toto nemohlo být realizováno u K.V.č.3, která dovolovala vždy jen jednu polohu tlakové sondy v každé rozteči, a to právě 10 mm před každou následující tryskou.

Dále bylo provedeno zmatnění povrchu třtin uvnitř kanálu. Třtiny mají z technologických důvodů velmi hladký povrch, který výrazně odrážel laserové světlo a znehodnocoval tak LDA signál. K potlačení tohoto nepříznivého jevu jsem povrch třtin natřel tenkou vrstvou syntetické černé matné barvy.

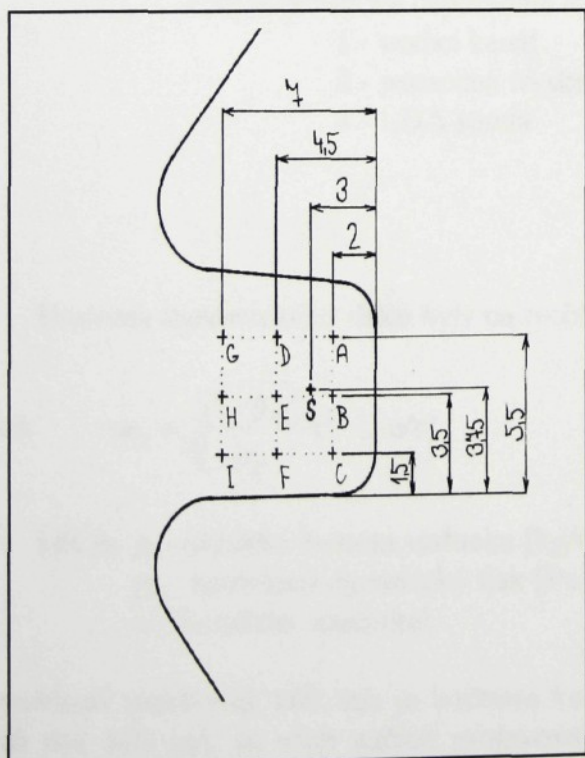
Proměřování jednotlivých bodů probíhalo v deseti podélných osách rozmístěných v aktivní části kanálu, tedy v té části, kde se předpokládá přítomnost útkové nitě v době prohozu. Devět os bylo rozmístěno tak, že v příčném řezu tvořily pravidelnou mřížku. Umístění desáté osy bylo podřízeno geometrii tlakové sondy, tak, aby mohla být demonstrována shoda výsledků měření tlakovou sondou a LDA anemometrem a také správnost směrového nastavení trysek. Rozteče mezi jednotlivými osami byly u každého paprsku odlišné, z důvodu rozdílné geometrie, volené vždy tak, aby bylo zajištěno dobré zmapování aktivní zóny kanálu. Rozmístění jednotlivých os ve vodícím kanále paprsku BETA je dobře patrné z obr. 7.5 a paprsku ALFA z obr. 7.6.

Odlehlosti x měřených bodů v podélných osách byly brány vždy od každé pomocné trysky umístěné na začátku příslušné rozteče (viz. obr. 7.4). Výjimkou byl případ proměřování obou roztečí v plném rozsahu jejich délky, ať už tlakovou nebo LDA sondou. Zde byly odlehlosti x měřeny od pomocné trysky umístěné před první roztečí.



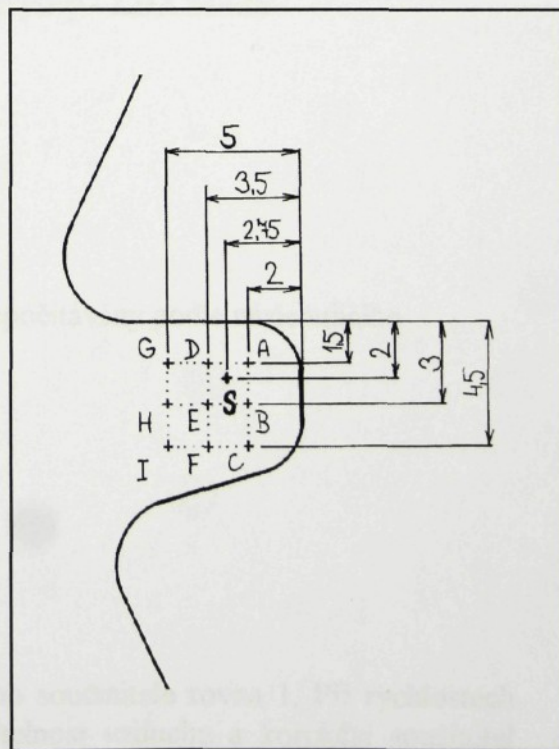
Obr. 7.4

Schématické znázornění proměřovaných roztečí



Obr. 7.5

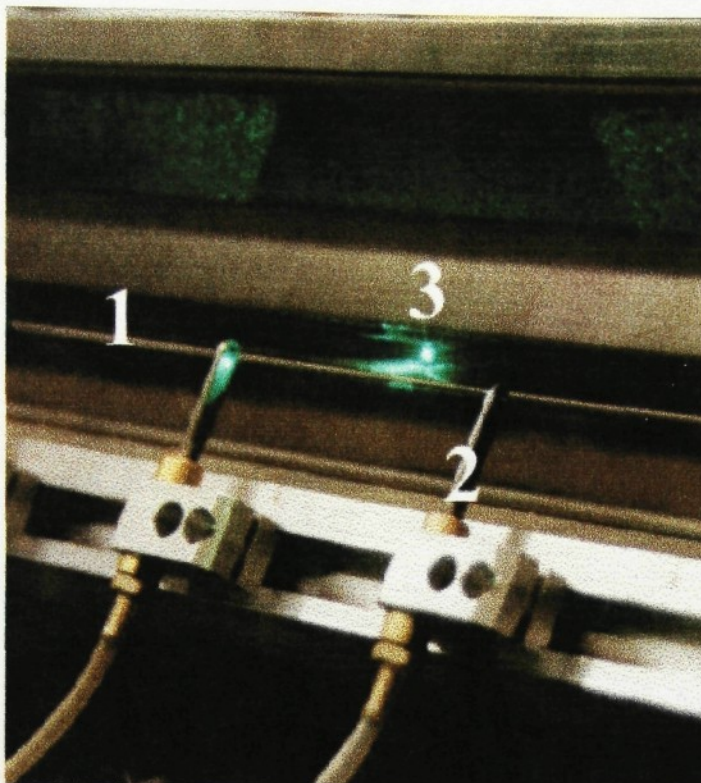
Rozmístění proměřovaných os uvnitř kanálu tkacího paprsku BETA



Obr. 7.6

Rozmístění proměřovaných os uvnitř kanálu tkacího paprsku ALFA

Charakteristické uspořádání **kanál - trysky - LDA sonda** je možno vidět na obrázku 7.7. Jedná se o uspořádání konstrukční varianty č. 2; ostatní varianty se liší pouze nepatrně odlišným tvarováním kanálu nebo umístěním trysek zhora.



Obr. 7.7

Charakteristické uspořádání **kanál - trysky - LDA sonda**

- 1 - vodící kanál
- 2 - pomocná tryska
- 3 - LDA sonda

Hodnoty dynamického tlaku byly na rychlost přepočítávány podle následujícího

vzorce:
$$w_x = \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho_s}} \cdot c' \quad [\text{m/s}]$$

kde je: ρ_s - statická hustota vzduchu [kg/m^3]
 p_d - naměřený dynamický tlak [Pa]
 c' - korekční součinitel

Pro rychlosti menší než 100 m/s je hodnota korekčního součinitele rovna 1. Při rychlostech větších než 100 m/s se však začíná projevovat stlačitelnost vzduchu a korekční součinitel nabývá hodnot daných vztahem :

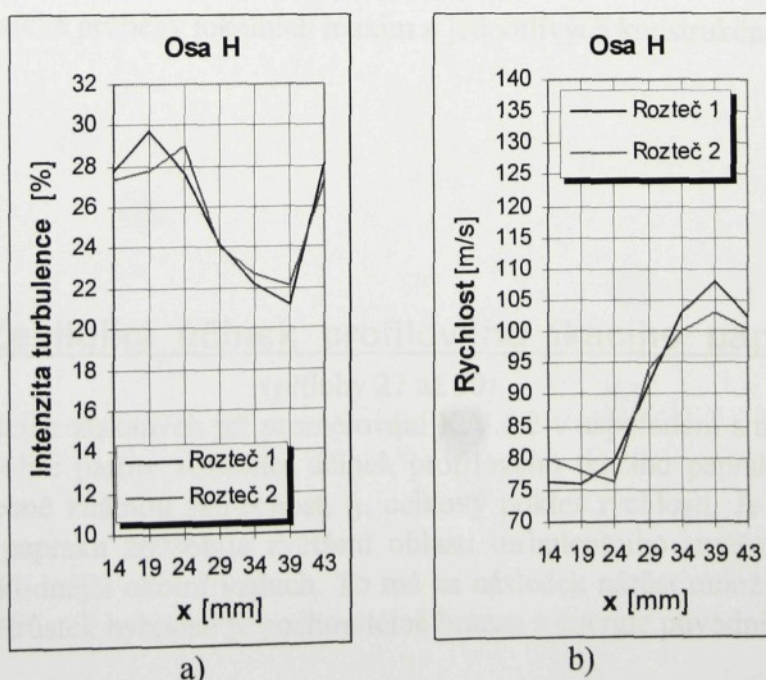
$$c' = \sqrt{\frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_s}{p_d} \cdot \left[\left(\frac{p_d}{p_s} + 1 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}$$

kde je :
 k - izoentropický exponent vzduchu k = 1,4
 p_d - naměřený dynamický tlak [Pa]
 p_s - statický tlak [Pa]

8. Diskuze výsledků měření

8.1 Intenzita turbulence

Hodnoty intenzit turbulence získané statistickým výpočtem podle (6.3) ukazují na velmi malou vypovídací hodnotu takto zavedeného popisu turbulence. Je patrné, že hodnoty intenzity turbulence jsou vždy podobné převráceným průběhům rychlostí (viz. obr. 8.1). Tento fakt je možné vysledovat i ze vzorce definujícího intenzitu turbulence, neboť je nepřímo úměrná rychlosti.

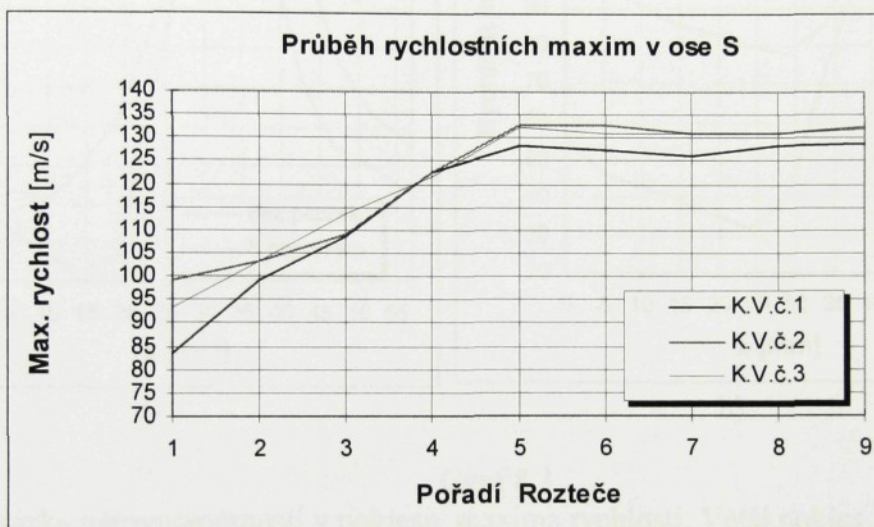


Graf 8.1

Náhodně vybrané výsledky K.V.č.1 dokládají, že průběh intenzity turbulence je do jisté míry převrácený průběh rychlosti

8.2 Náběh rychlostních maxim

Během nastavování pomocných trysek byly zaznamenávány hodnoty nastavených lokálních maxim v jednotlivých roztečích a jejich grafické zpracování potvrdilo správnost odhadu náběhu zaplnění kanálu rychlostním polem. K ustálení hodnot lokálních maxim došlo u všech variant už v páté rozteči. V grafu 8.2 je pro ukázkou uveden charakteristický průběh lokálních maxim jednotlivých konstrukčních variant. Tento náběh je způsoben absencí hlavní vkladací trysky, která však v běžném provozu prohozního systému nižší hodnoty v prvních roztečích kompenzuje a odstraňuje tak pozvolný náběh lokálních maxim.



Graf 8.2

Charakteristické průběhy lokálních maxim u jednotlivých konstrukčních variant.

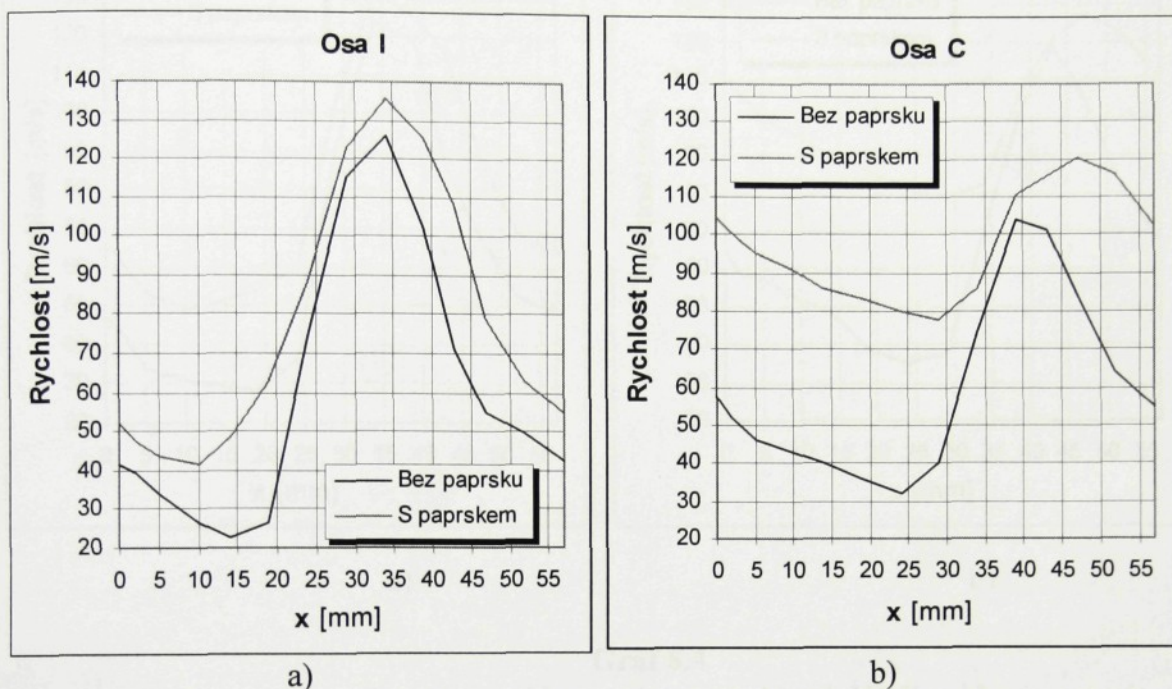
8.3 Zesilující účinek profilového tkacího paprsku

(přílohy 27 až 30)

Na výsledcích získaných při proměřování K.V.č.2 v uspořádání s tkacím paprskem a bez něho, je dobře patrný zesilující účinek profilového tkacího paprsku. Toto měření potvrdilo jen obecně známou skutečnost, tj. celkový pokles rychlosti. Je to vysvětlitelné tím, že absence paprsku způsobila zvětšení oblasti turbulentního směšování, kde je do proudu strháván klidnější okolní vzduch. To má za následek nárůst množství strhávaného vzduchu, jehož přírůstek hybnosti je pochopitelně hrazen z energie původního proudu.

Méně výrazný pokles rychlosti byl zaznamenán v části rozteče, kde se vyskytuje lokální maximum rychlosti a to zhruba asi o 10 až 20 %. Pokles v této části rozteče však nebyl rovnoměrný, větších hodnot dosahoval v oblasti původní stěny kanálu (osy A,B,C).

To lze snadno vysvětlit. V případě, že proudění je ohraničeno paprskem, má přítomnost vodícího kanálu tendenci více zesilovat a usměrňovat proudění blíže stěně kanálu, než je tomu na vnější straně (osy G,H,I). Pokud však paprsek odstraníme, tento selektivní účinek kanálu zmizí a rychlost se proto v této oblasti více propadne, než je tomu u oblasti na vnější straně.



Graf 8.3

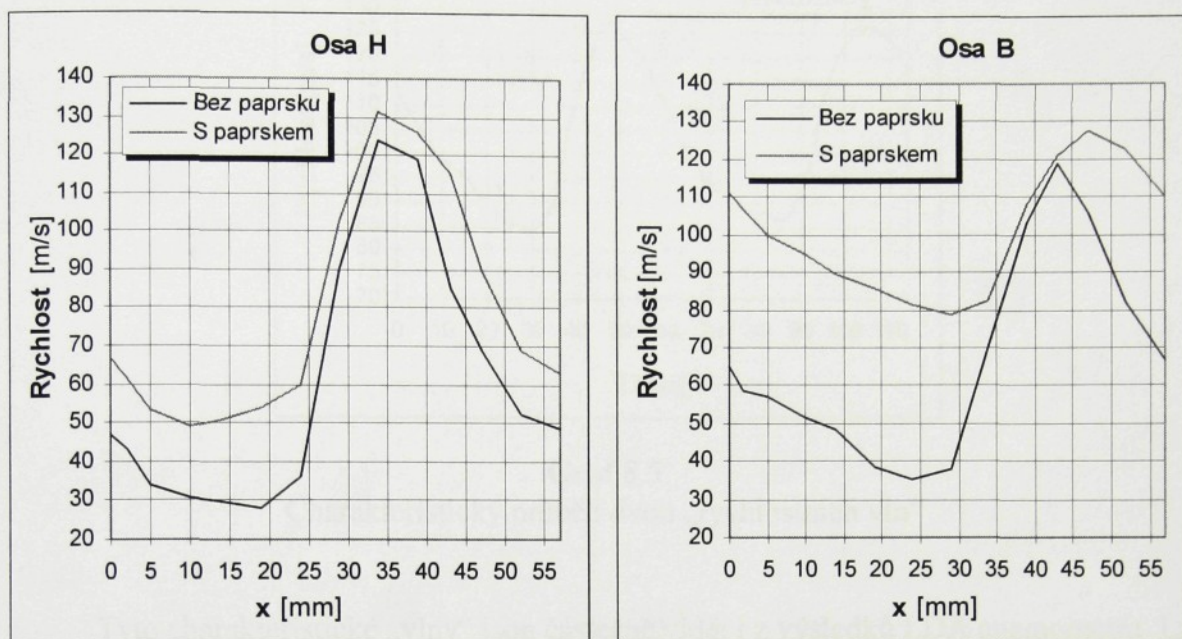
Ukázka nerovnoměrnosti v poklesu maxima rychlosti. Větší pokles je patrný v oblasti stěny (osa C), než v oblasti od stěny vzdálenější (osa I)

Pokles rychlosti o 10 až 20% se může jevit jako malý; musíme si ale uvědomit, že rozteč mezi pomocnými tryskami je malá, a že se tedy v části rozteče, o které je řeč, pohybujeme velmi blízko jádra proudu, kde ani při zániku zesilujícího účinku paprsku nemůže dojít k výraznému poklesu rychlosti.

Naopak daleko výraznější byl pokles rychlosti v části rozteče, kde se vyskytuje lokální minimum rychlosti, a to až o 65 %. Rozdíl mezi poklesem rychlosti v části rozteče s lokálním minimem (pokles až o 65 %) a lokálním maximem (pokles o 10 až 20%) je nejspíše způsoben tím, že osy proudů vystupujících z pomocných trysek nejsou rovnoběžné s podélnou osou kanálu, nýbrž s ní svírají malý, obecně prostorový úhel. Stěna kanálu proudy usměrňuje do podélného směru a tím zajišťuje rovnoměrné zaplnění kanálu rychlostním polem, což v konečné důsledku má za následek menší rozpětí hodnot rychlostí v kanále. Pokud paprsek odstraníme, původní prostor kanálu přestane být rovnoměrně plněn rychlostním polem a rozpětí hodnot rychlostí se zvětší.

A opět lze konstatovat, že pokles rychlosti v části rozteče s lokálním minimem nabýval větších hodnot v oblasti původní stěny (osy A,B,C). Tuto skutečnost lze vysvětlit

obdobně jako u výraznějšího poklesu rychlosti u stěny kanálu v části rozteče s lokálním maximem rychlosti.



a)

b)

Graf 8.4

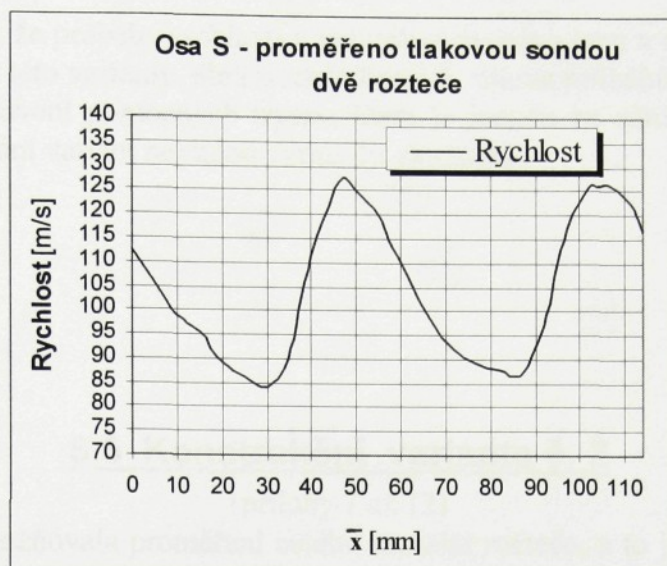
Ukázka nerovnoměrnosti v poklesu minima rychlosti. Větší pokles je patrný v oblasti stěny (osa B), než v oblasti od stěny vzdálenější (osa H)

Jak už bylo uvedeno výše, proměření K.V.č.2 v provedení bez paprsku mělo pouze informativní charakter a mělo posloužit k názorné demonstraci zesilujícího účinku tkacího paprsku. Toto provedení konstrukční varianty nemá praktické použití; tkací paprsek vykonává v procesu tkaní nepostradatelnou funkci - přiraz útkové nitě k čelu tkaniny.

8.4 Konstrukční varianta č. 1

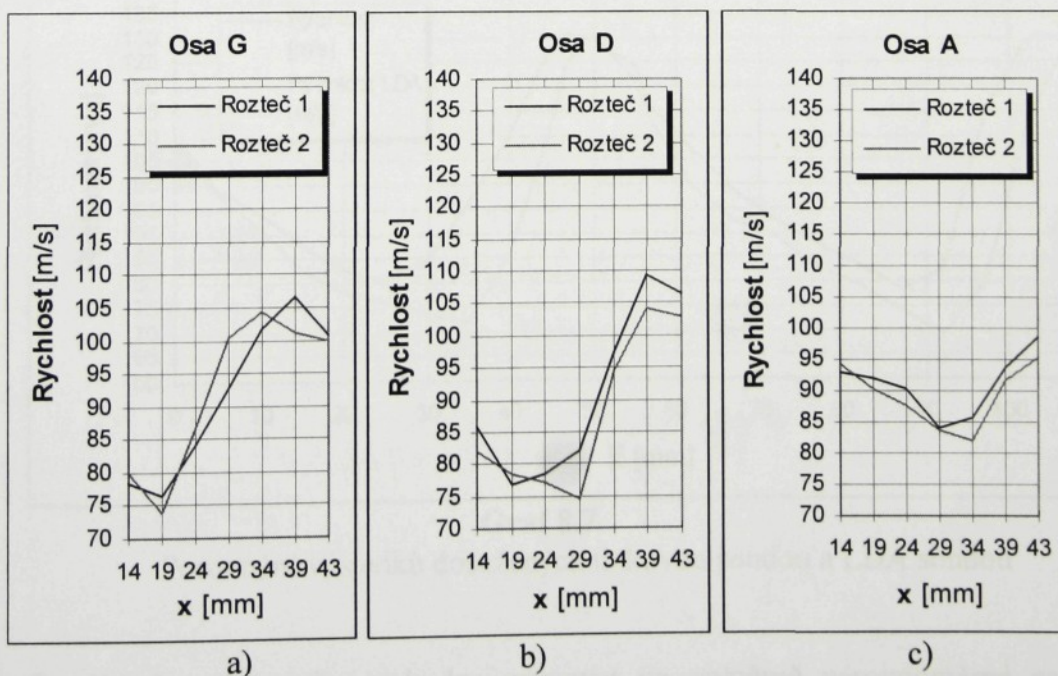
(přílohy 1 až 6)

Toto konstrukční uspořádání umožňovalo posuv tlakové sondy po celé délce vodícího kanálu. Proto byly obě rozteče proměřeny v celém rozsahu, což LDA sonda pro umístění trysek v horní poloze, nebyla schopna zajistit. Výsledek názorně ukazuje charakteristický průběh dvou „rychlostních vln“. Rychlostní vlna by se v případě optimálního směrového nastavení trysek měla periodicky opakovat v každé rozteči pomocných trysek.



Graf 8.5
Charakteristický průběh dvou „rychlostních vln“

Tyto charakteristické „vlny“ jsou částečně vidět i z výsledků LDA anemometru. Lze konstatovat, že rychlostní maxima v oblasti blízko stěny kanálu (osy A,B,C) jsou posunuta ve směru proudu dále k následující trysce, než je tomu v oblasti dále od stěny (viz. graf 8.6). Toto posunutí je dáno konstrukční geometrií varianty. Osy proudů pomocných trysek jsou obecně různoběžné s podélnou osou kanálu, proudy směřují pod malými úhly závislými na tlakových poměrech, směrem ke stěně kanálu. Proto pohybujeme - li se kanálem podélným směrem, v oblasti dále od stěny, procházíme středem proudu s vyšší rychlostí dříve než v oblasti stěny.



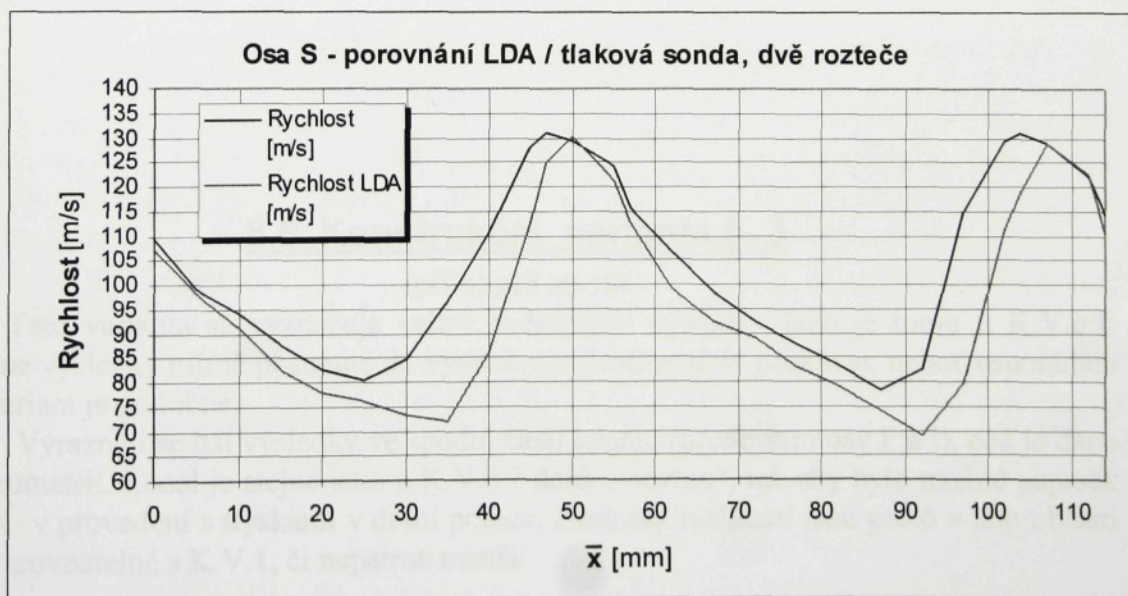
Graf 8.6
Grafy demonstrují závislost polohy maxima rychlosti na vzdálenosti od stěny kanálu. Taktéž demonstruje dobrou shodu průběhů rychlosti v jednotlivých roztečích.

Lze také říci, že průběhy rychlostí v jednotlivých osách jsou v obou roztečích téměř shodné, a to nejen u této varianty, ale i u následujících. Shoda průběhů poukazuje na velmi dobré směrové nastavení pomocných trysek, které je jednou ze záruk toho, že výsledky vzájemného porovnání variant nebudou výrazněji zkresleny.

8.5 Konstrukční varianta č. 2

(přílohy 7 až 12)

Varianta umožňovala proměření celého rozsahu rozteče, a to jak tlakovou sondou, tak i LDA sondou. Hodnoty rychlosti získané tlakovou sondou jsou nepatrně větší, než je tomu u LDA sondy. U tlakové sondy nelze zcela přesně zajistit rovnoběžnost její osy s podélnou osou kanálu a sonda může zohledňovat i jiné složky rychlosti než jen podélné. Na základě porovnání výsledků dosažených tlakovou a LDA sondou si lze udělat představu o přesnosti tlakové sondy a digitálního snímače dynamického tlaku, bereme-li v úvahu skutečnost, že metoda laser - dopplerovské anemometrie je jednou z nejpřesnějších metod pro stanovení rychlosti proudící tekutiny.

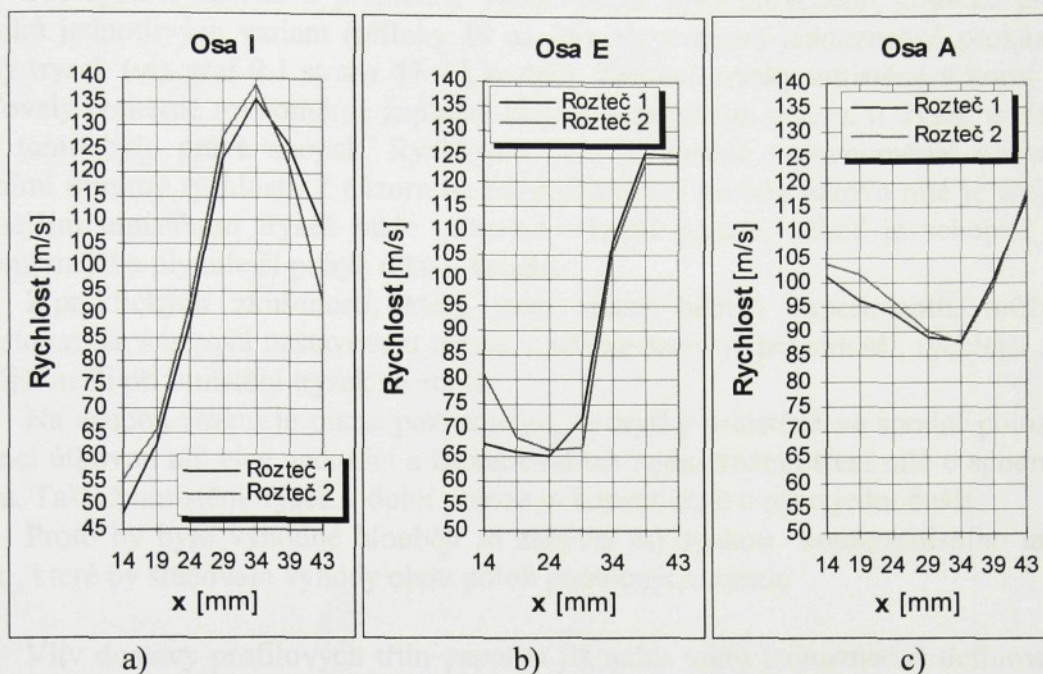


Graf 8.7

Porovnání výsledků dosažených tlakovou sondou a LDA sondou

Z průběhů rychlostního pole lze usuzovat na poměrně nerovnoměrné zaplnění kanálu rychlostním polem, což se výrazněji projevilo dále od stěny a v dolní části kanálu, kde jsou značné rozdíly mezi lokálními maximy a minimy (viz. graf. 8.8). Je to dáno

především obecně prostorovým úhlem mezi podélnou osou kanálu a osami výstupních proudů trysek a také geometrií vodícího kanálu, který je směrem dolů „otevřen“.



Graf 8.8

Ukázka nárůstu nerovnoměrnosti zaplnění kanálu rychlostním polem v diagonálním směru od shora dolů s počátkem u stěny kanálu.

8.6 Konstrukční varianta č. 3

(přílohy 13 až 18)

Tato varianta se vyznačuje velmi podobnými výsledky jako je tomu u K.V.č.1. Obdobné výsledky mírně posunuté do vyšších rychlostí se daly očekávat, neboť uspořádání obou variant je podobné.

Výrazněji se liší výsledky ve spodní části kanálu (především osy F a I), což je dáno jeho geometrií. Kanál je stejně jako u K.V.č.2 dolů „otevřen“, tak aby bylo možné paprsek použít i v provedení s tryskami v dolní poloze. Hodnoty rychlostí jsou proto v této oblasti kanálu srovnatelné s K.V.1, či nepatrně menší.

9. Zhodnocení experimentu

Pro rychlé, snadné a přehledné vyhodnocení bylo provedeno grafické zkreslení výsledků jednotlivých variant (přílohy 19 až 26). Experiment jednoznačně prokázal vliv polohy trysek (viz graf 9.1 strana 47 - 1 rozteč). Zatímco trysky umístěné v horní poloze zajišťovaly poměrně rovnoměrné zaplnění kanálu rychlostním polem, u trysek umístěných zdola tomu bylo právě naopak. Rychlostní pole je značně nerovnoměrné s výraznými lokálními minimy rychlostí. Z názoru na bezproblémový prohoz útkové nitě je zřejmé, že vhodnějším umístěním trysek bude umístění v horní poloze, neboť je schopné zajistit rovnoměrnější a plynulejší pohyb útku v kanále.

Z praktických zkušeností, které jsem získal během experimentu, můžu také konstatovat, že směrové nastavování trysek v poloze horní je jednodušší, rychlejší a méně citlivější nežli při umístění trysek ze zdola.

Na druhou stranu je nutné poznamenat, že trysky umístěné ve spodní poloze mají tendenci útkovou nit více nadnášet a zabraňovat tak nadměrnému tření nitě o spodní stěnu kanálu. Taktéž umístění trysek v dolní poloze je konstrukčně o něco jednodušší.

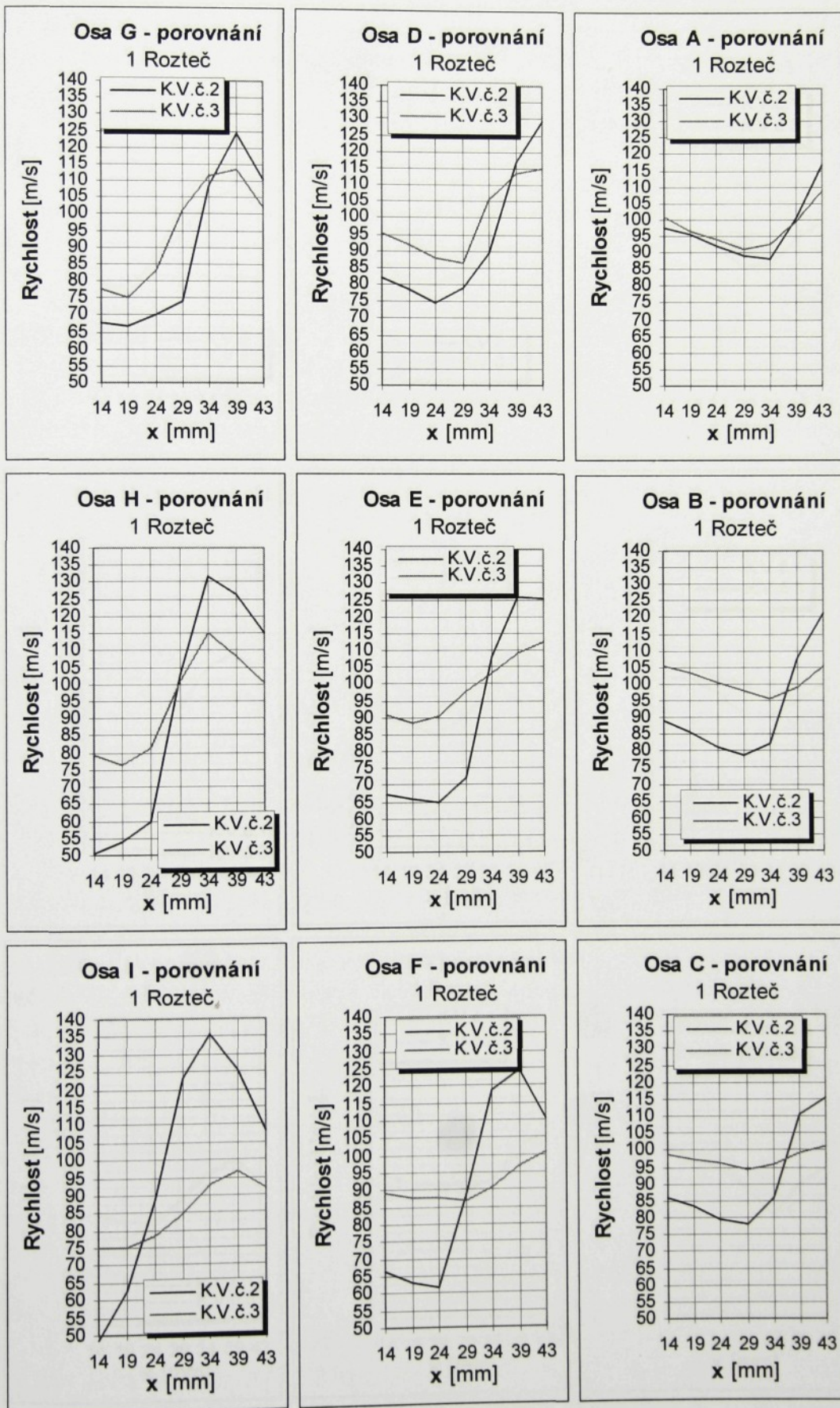
Proto by bylo výhodné hlouběji se zabývat myšlenkou kompromisního umístění trysek, které by slučovalo výhody obou poloh pomocných trysek.

Vliv dostavy profilových třtin paprsku již nelze takto jednoznačně definovat (viz. graf 9.2 strana 48 - 1 rozteč). Z výsledků plyne, že značný vliv na rychlostní pole měla i odlišná geometrie jednotlivých kanálů. Pokud bychom předpokládali pouze vliv dostavy třtin dalo by se očekávat, že rychlosti v případě řidší dostavy budou nabývat menších hodnot, přičemž větší pokles lze předpokládat v oblasti stěny kanálu. Jistý pokles byl skutečně zaznamenán.

Nelze však s jistotou říci, zda tato skutečnost byla způsobena pouze řidší dostavou třtin, neboť z celkového grafického porovnání lze taktéž usuzovat i na vliv většího geometrického prostoru, jež kanál paprsku BETA zaujímá. Vliv odlišné geometrie kanálů je nejvíce patrný na porovnání průběhů rychlostí v dolní části kanálu (především osa F a I). Zde byly dokonce naměřeny mírně vyšší rychlosti v případě řidšího paprsku. To může být způsobeno tím, že únik vzduchu prostory mezi třtinami řidšího paprsku BETA je menší, nežli únik vzduchu a zpomalení proudového pole vlivem geometrického otevření paprsku ALFA směrem dolů. Svoji negativní roli zde určitě sehrálo i to, že rozmístění os ve vodícím kanále paprsku ALFA nebylo totožné s rozmístěním os v kanále paprsku BETA.

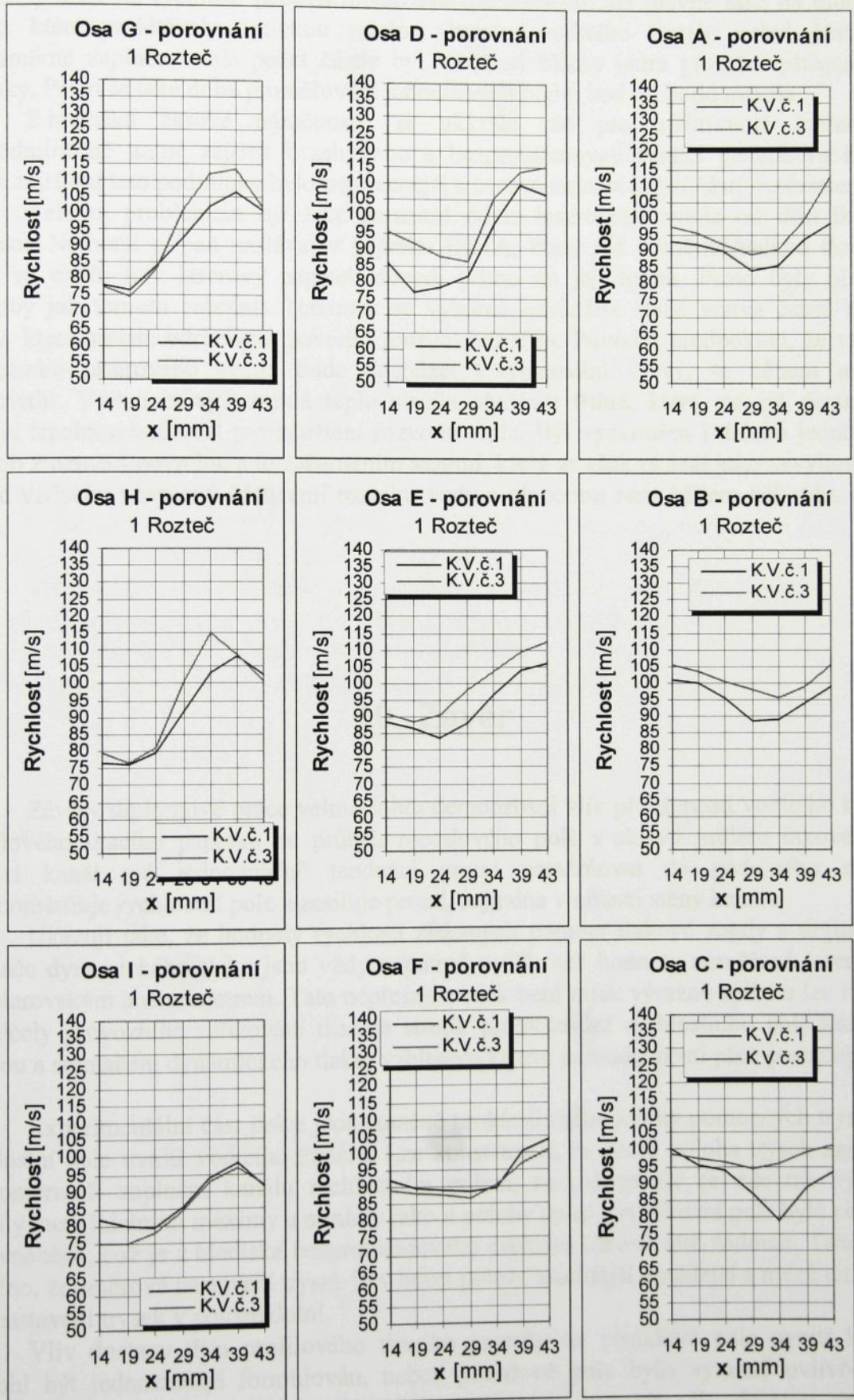
Graf 9.1

Grafické zkeslení průběhů rychlostí konstrukčních variant č. 2 a č.3 pro snadné posouzení vlivu polohy pomocných trysek na rychlostní



Graf 9.2

Grafické zkreslení průběhů rychlostí konstrukčních variant č. 1 a č. 3 pro snadné posouzení vlivu dostavy profilových třtin na rychlostní pole



Obecně lze říci, že čím více bodů proměříme, tím lepší představu o rychlostním poli uvnitř kanálu získáme. V našem případě bylo proměřeno, během celého experimentu, celkem 630 bodů. Proměření jednoho bodu trvalo průměrně 1 až 2 minuty. Doba byla závislá, jednak na rychlosti posuvu traverzovacího zařízení, ale hlavně také na množství částic, které prolétávaly optickou sondou. Prostor vodícího kanálu nebyl částicemi rovnoměrně zaplněn, větší počet částic byl v oblasti blízko jádra proudu vystupujícího z trysky. Proto se také doba proměřování jednotlivých bodů, bod od bodu měnila.

Z hlediska časové náročnosti, se ukázalo, že pro efektivnost měření je bezpodmínečně nutné zajistit bezchybnou a bezproblémovou funkci generátoru částic. Právě zajištění této podmínky bylo nejpracnější a časově nejnáročnější částí experimentu.

Velkým problémem byl také parazitní odraz laserového světla od třtin tkacího paprsku. Nejhorší případ nastával u paprsku BETA, který má poměrně velkou tloušťku třtin, ve chvíli kdy laserový paprsek dopadl přímo na její hranu. Proto byly hledány způsoby jak tomuto zabránit. Nakonec se výborně osvědčila slabá vrstva černé matné barvy, která snížila odrazivost povrchu profilových třtin. Původní předpoklad, že vlivem pohlcování laserového světla bude docházet k vypalování barvy, se během měření nepotvrdil. Vrstva barvy vzniklé teplo stačila předávat třtině, která má již dostatečně velkou tepelnou vodivost pro zajištění rozvodu tepla. Byl vyzkoušen i daleko jednodušší způsob zmatnění povrchu, a to začerněním saze, který se však ukázal jako nevyhovující. Proud vzduchu nasycený částicemi roztoku vody a glycerínu saze během několika minut smyl.

10. Závěr

Závěry diplomové práce velmi dobře demonstrují vliv přítomnosti vodícího kanálu profilového tkacího paprsku na průběh proudového pole v oblasti průletu útkové nitě. Vodící kanál má jednoznačně tendenci proud usměrňovat do podélného směru, zrovnoměrňuje rychlostní pole a zesiluje proud, zejména v oblasti stěny kanálu

Ukazují také, že hodnoty rychlostí získaných pomocí tlakové sondy a digitálního snímače dynamického tlaku jsou vždy nepatrně vyšší, než hodnoty naměřené laserovým dopplerovským anemometrem. Tato nepřesnost však není nijak výrazně velká a lze říci, že pro účely provozního seřizování tkacích strojů, proměřování rychlostního pole tlakovou sondou a snímačem dynamického tlaku, vzhledem ke své jednoduchosti plně postačuje.

Experimentální část práce jednoznačně prokázala vliv polohy pomocných trysek na rychlostní pole uvnitř vodícího kanálu. Lze konstatovat, že horní poloha trysek zajišťuje rovnoměrnější zaplnění kanálu rychlostním polem, nevyskytovaly se zde tak výrazné rozdíly mezi lokálními maximy a minimy jako u polohy dolní a rychlostní pole bylo celkově vyrovnanější, což je z hlediska bezproblémového prohozu útkové nitě žádoucí. Také bylo zjištěno, že směrové nastavení trysek je v horní poloze snadnější, rychlejší a méně citlivější než nastavení trysek v poloze dolní.

Vliv dostavy třtin profilového tkacího paprsku na proudové pole uvnitř kanálu nemohl být jednoznačně formulován, neboť proudové pole bylo výrazně ovlivňováno jinými, parazitními vlivy, které znemožnili s jistotou stanovit vliv dostavy třtin na

rychlostní pole. Jsou to především rozdílná geometrie vodících kanálů a také různá velikost geometrického prostoru, který jednotlivé kanály zaujímají. Pokud by se měl jednoznačně definovat vliv dostavy, bylo by potřeba měření provést na geometricky shodných tkacích paprscích, lišících se pouze rozdílnou dostavou třtin. Výhodné by také bylo zvolit větší počet proměřovaných podélných os, aby proudové pole uvnitř kanálu mohlo být lépe zmapováno.

Výsledky diplomové práce by se mohly stát jedním z podkladů k optimalizaci polohy pomocných trysek tak, aby se bylo možno vyvarovat problémů v procesu prohozu útkové nitě na tryskových tkacích strojích a zvýšit tak jejich efektivnost.

Určitě ne nezajímavou by byla i možnost výsledky práce porovnat s obdobným experimentem, který by ke zpracování LDA signálu používal modernějšího signálového procesoru - BSA analyzátoru.

Experimentální měření prokázalo značnou náročnost metody laser - dopplerovské anemometrie, kdy bylo nutno dbát na pečlivé sladění všech faktorů ovlivňující přesnost a efektivnost měření. V tomto ohledu se jako nejproblémovějším místem ukázal generátor částic. Generátor je sestaven ze skleněných lahví, které nejsou určeny pro použití za vyšších tlaků. Z tohoto důvodu docházelo k jejich destrukci a následnému zanesení pomocných trysek skleněnými střepinkami.

Výsledky této práce by proto mohly posloužit v případě návrhu nového generátoru částic, který by odstranil používání skleněných lahví.

Měření dále ukázalo, že by bylo výhodné zabývat se i otázkou náhrady glycerínu jako zdroje částic, zejména pro realizaci experimentů s obdobnými podmínkami. Částice roztoku glycerínu měly tendenci ulpívat na třtinách paprsku a uzavírat mezery mezi nimi. Toto se nejvíce projevilo u hustého paprsku alfa, kde vzdálenost mezi třtinami je malá.

PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

- Abramovič G. N. : Teoria turbulentnyh struj, GIFML, Moskva, 1960
- Abramovič G. N. : Aplikovaná dynamika plynů, Technicko - vědecké nakladatelství, Praha, 1952
- Adámek K. : Vzduchový tryskový prohoz - zpráva VÚTS, Liberec, 1990
- Autorský kolektiv : Příručka měřicí techniky pro strojírenství a energetiku, SNTL, Praha, 1965
- Dejč M. E. : Technická dynamika plynů, SNTL, Praha, 1967
- Dúbrava L., Vajcík S. : Energetická bilancia turbulentného prúdu, VEDA, Bratislava, 1988
- Fukač F. : Technologie tkalcovství I, SNTL, Praha, 1984
- Goldstein R. J. : Fluid Mechanics Measurements, Hemisphere Publ. Cor., New York, 1983
- Chyský J. : Větrání a klimatizace, SNTL, Praha, 1971
- Kopecký V. : Aplikace laserové dopplerovské anemometrie na měření proudových polí vzduchového prohozu tryskového tkacího stroje - kandidátská disertační práce, VŠST, Liberec, 1993
- Lojčanskij L. G. : Mechanika kapalin a plynů I, II, SNTL, Praha, 1954
- Nguyen Kim Quy : Dynamika prohozu útku na pneumatických tkacích strojích - kandidátská disertační práce, VŠST, Liberec, 1993
- Talavášek O., Svatý V. : Bezčlunkové stavy, SNTL, Praha, 1975

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

JEDNOTLIVÉ KONSTRUKČNÍ VARIANTY (přílohy 1 až 18)

Konstrukční varianta č.1 (přílohy 1 až 6)

PŘÍLOHA 1 - Schéma uspořádání konstrukční varianty č.1.....	1
PŘÍLOHA 2 - Detail geometrie vodícího kanálu tkacího paprsku BETA.....	2
PŘÍLOHA 3 - Tabulky hodnot rychlostí a intenzit turbulence.....	3
PŘÍLOHA 4 - Průběhy intenzit turbulence, osy A - I.....	4
PŘÍLOHA 5 - Průběhy rychlostí, osy A - I.....	5
PŘÍLOHA 6 - Charakteristická rychlostní vlna ve dvou roztečích, průběh rychlostních maxim a výsledky měření LDA v ose S.....	6

Konstrukční varianta č.2 (přílohy 7 až 12)

PŘÍLOHA 7 - Schéma uspořádání konstrukční varianty č.2.....	7
PŘÍLOHA 8 - Detail geometrie vodícího kanálu tkacího paprsku ALFA.....	8
PŘÍLOHA 9 - Tabulky hodnot rychlostí a intenzit turbulence.....	9
PŘÍLOHA 10 - Průběhy intenzit turbulence, osy A - I.....	10
PŘÍLOHA 11 - Průběhy rychlostí, osy A - I.....	11
PŘÍLOHA 12 - Charakteristická rychlostní vlna ve dvou roztečích, průběh rychlostních maxim a výsledky měření LDA v ose S.....	12

Konstrukční varianta č.3 (přílohy 13 až 18)

PŘÍLOHA 13 - Schéma uspořádání konstrukční varianty č.3.....	13
PŘÍLOHA 14 - Detail geometrie vodícího kanálu tkacího paprsku ALFA.....	14
PŘÍLOHA 15 - Tabulky hodnot rychlostí a intenzit turbulence.....	15
PŘÍLOHA 16 - Průběhy intenzit turbulence, osy A - I.....	16
PŘÍLOHA 17 - Průběhy rychlostí, osy A - I.....	17
PŘÍLOHA 18 - Charakteristická rychlostní vlna ve dvou roztečích, průběh rychlostních maxim a výsledky měření LDA v ose S.....	18

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ KONSTRUKČNÍCH VARIANT č.2 a č.3 - VLIV POLOHY POMOCNÝCH TRYSEK (přílohy 19 až 22)

PŘÍLOHA 19 - Průběhy intenzit turbulence K.V.2 a K.V.3, vliv polohy pomocných trysek - 1 ROZTEČ.....	19
PŘÍLOHA 20 - Průběhy rychlostí K.V.2 a K.V.3, vliv polohy pomocných trysek - 1 ROZTEČ.....	20
PŘÍLOHA 21 - Průběhy intenzit turbulence K.V.2 a K.V.3, vliv polohy pomocných trysek - 2 ROZTEČ.....	21

PŘÍLOHA 22 - Průběhy rychlostí K.V.2 a K.V.3, vliv polohy pomocných trysek - 2 ROZTEČ.....	22
---	----

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ KONSTRUKČNÍCH VARIANT č.1 a č.3 - VLIV DOSTAVY PROFILOVÝCH TŘTIN (přílohy 23 až 26)

PŘÍLOHA 23 - Průběhy intenzit turbulence K.V.1 a K.V.3, vliv dostavy profilových třtin - 1 ROZTEČ.....	23
PŘÍLOHA 24 - Průběhy rychlostí K.V.1 a K.V.3, vliv dostavy profilových třtin - 1 ROZTEČ.....	24
PŘÍLOHA 25 - Průběhy intenzit turbulence K.V.1 a K.V.3, vliv dostavy profilových třtin - 2 ROZTEČ.....	25
PŘÍLOHA 26 - Průběhy rychlostí K.V.1 a K.V.3, vliv dostavy profilových třtin - 2 ROZTEČ.....	26

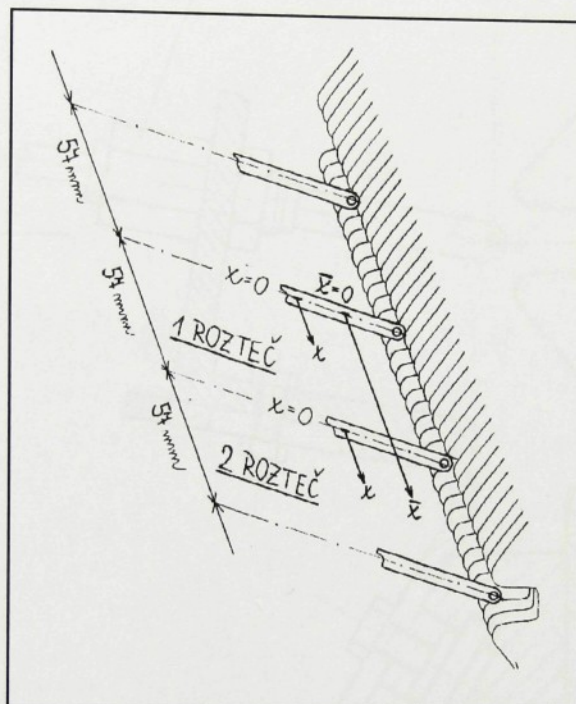
ZESILUJÍCÍ ÚČINEK TKACÍHO PAPRSKU (přílohy 27 až 30)

PŘÍLOHA 27 - Tabulky hodnot intenzit turbulence konstrukční varianty č.2 s paprskem a bez paprsku.....	27
PŘÍLOHA 28 - Tabulky hodnot rychlostí konstrukční varianty č.2 s paprskem a bez paprsku.....	28
PŘÍLOHA 29 - Průběhy rychlostí konstrukční varianty č.2 s paprskem a bez paprsku, osy A - F.....	29
- Průběhy rychlostí konstrukční varianty č.2 s paprskem a bez paprsku, osy G,H,I,S.....	30
PŘÍLOHA 30 - Průběhy intenzit turbulence konstrukční varianty č.2 s paprskem a bez paprsku, osy A - F.....	31
- Průběhy intenzit turbulence konstrukční varianty č.2 s paprskem a bez paprsku, osy G,H,I,S.....	32

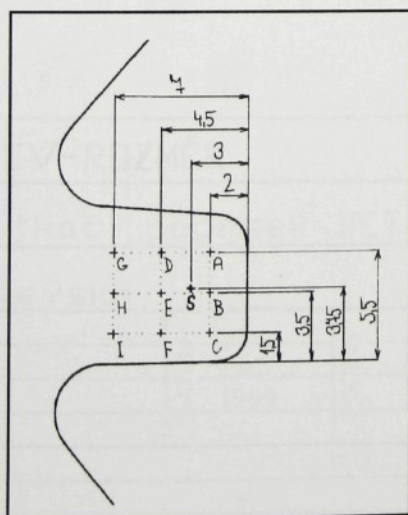
PŘÍLOHA 31 - Charakteristická rychlostní vlna konstrukční varianty č.2 Porovnání výsledků měření tlakovou sondou a LDA sondou.....	33
---	----

Jednotlivé konstrukční varianty

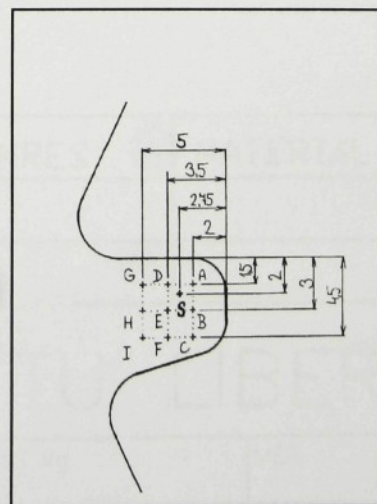
Konstrukční varianta č.1.....přílohy 1 až 6
 Konstrukční varianta č.2.....přílohy 7 až 12
 Konstrukční varianta č.3.....přílohy 13 až 18



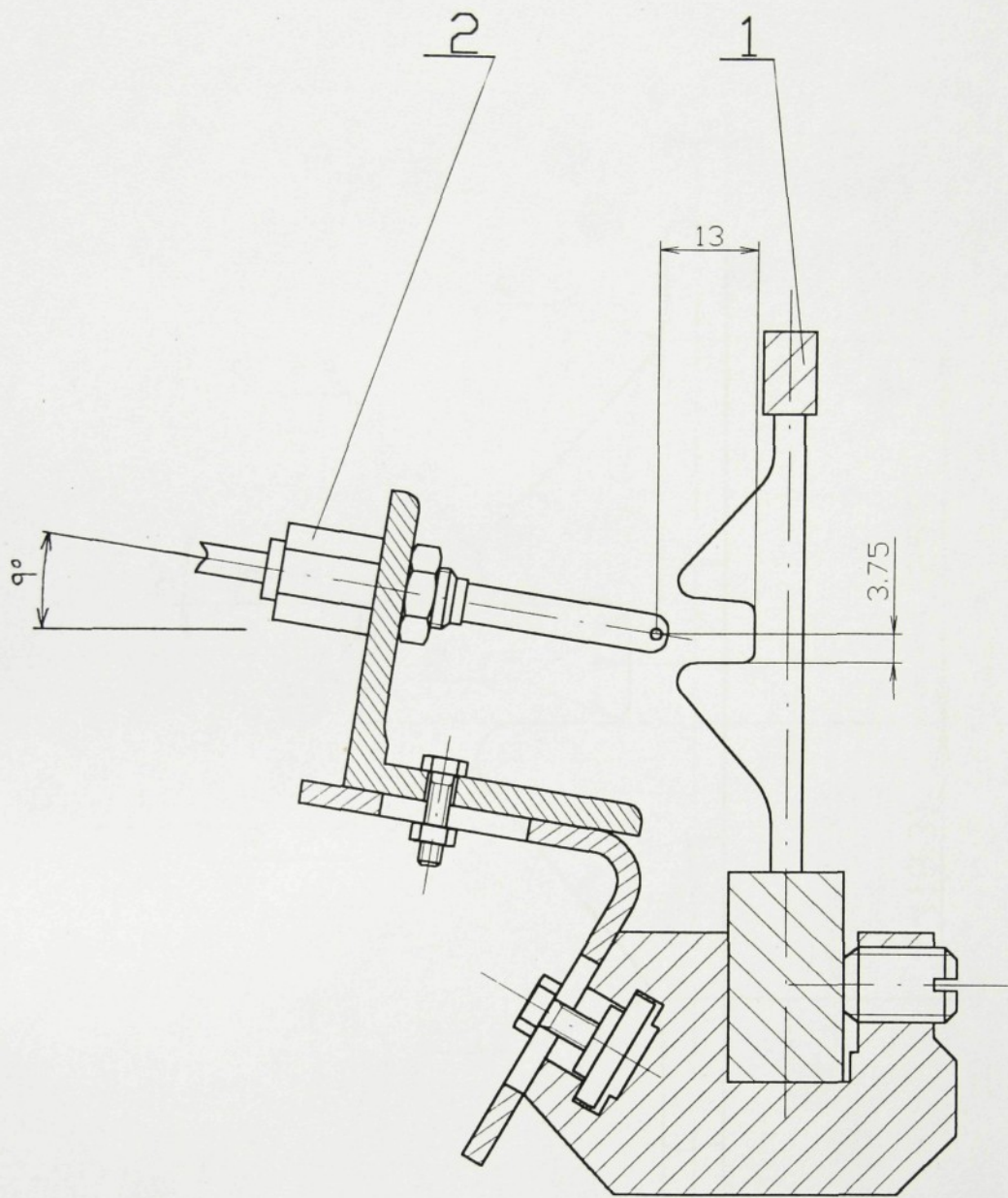
Schématické znázornění proměřovaných roztečí



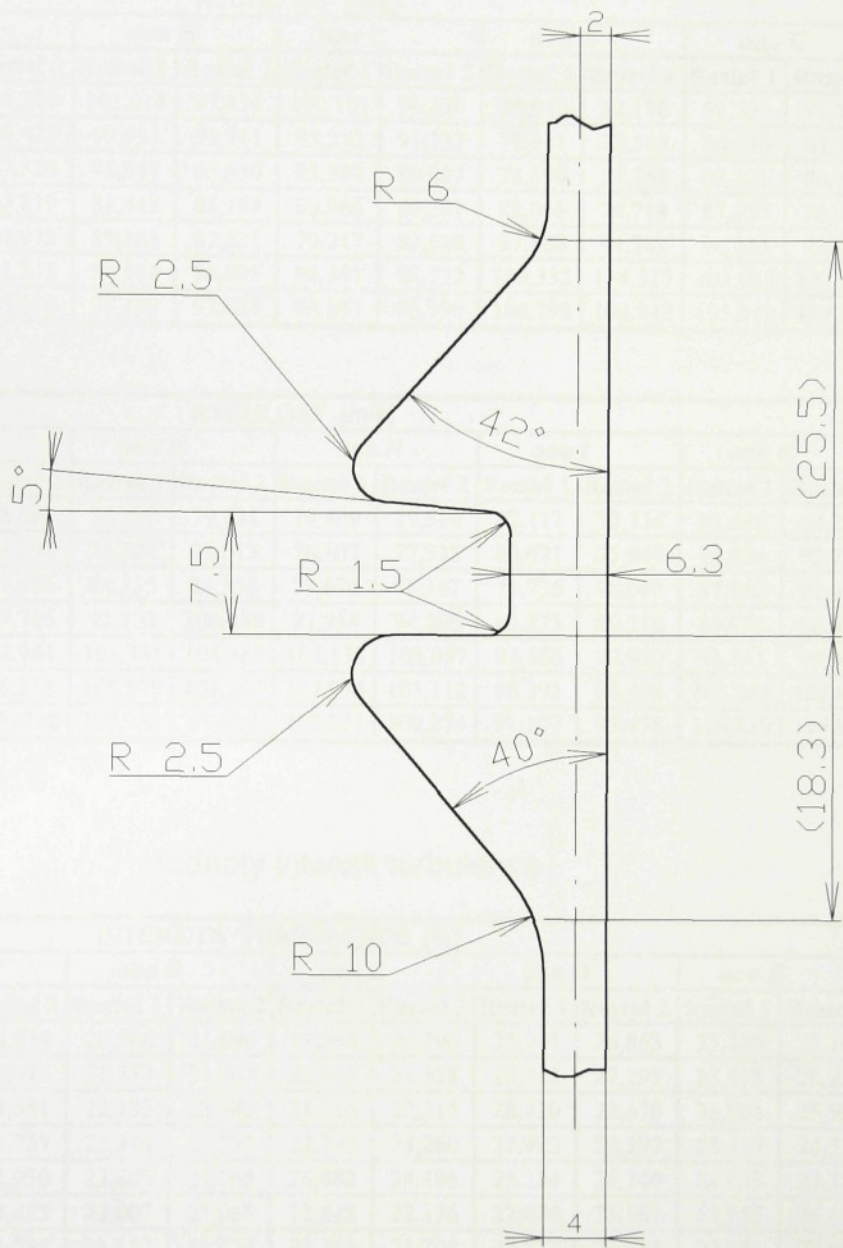
Rozmístění proměřovaných os uvnitř kanálu tkacího paprsku BETA



Rozmístění proměřovaných os uvnitř kanálu tkacího paprsku ALFA



PO.	NÁZEV-ROZMĚR			VYKRES	MATERIÁL	J.	MN.	HMO.
1	Profilový tkací paprsek BETA						1	
2	Pomocná tryska						10	
INDEX	ZMENA		DATUM	PODPIS	TU LIBEREC			
			28.5. 1999					
ZN. MAT.				T.O.	HMOTNOST kg		MĚŘ. 1:1	
ROZM.-POLOT.					Č. SN.		TŘ. Č.	
Č. POM. ZAŘ.					POZN.		Č.KUSOVNÍKU	
VYPR. Richard Zakopal		NORM.REF.						
PŘEZK.								
TECHN.		SCHVÁLIL			STARÝ V.		Č.V.	
NÁZEV					FS-TT-01			
KONSTRUKČNÍ VARIANTA č. 1								
					Listů List			



INDEX	ZMENA	DATUM	28.5. 1999	PODPIS	TU LIBEREC	
ZN. MAT.				T.O.	HMOTNOST kg	MĚŘ. 2:1
ROZM.-POLOT.					Č. SN.	TŘ. Č.
Č. POM. ZAŘ.					POZN.	Č.KUSOVNÍKU
VYPR. Richard Zakopal		NORM.REF.			STARÝ V.	Č.v.
PŘEZK.						
TECHN.		SCHVÁLIL				
NÁZEV				FS-TT-04		
Detail vodícího kanálu tkacího paprsku BETA				Listů	List	

Hodnoty rychlostí

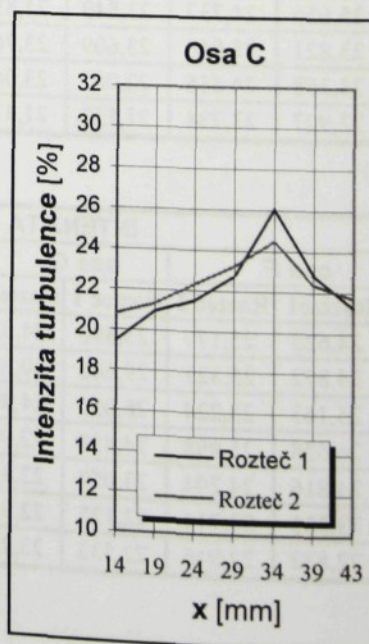
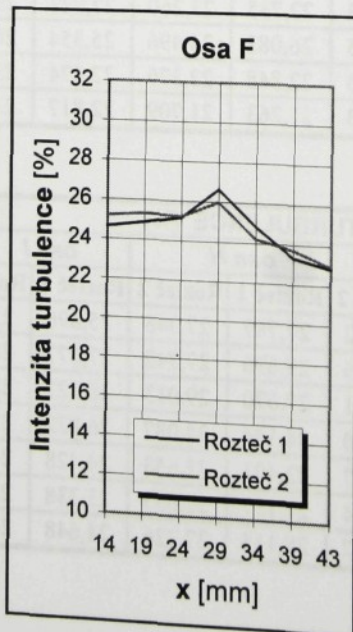
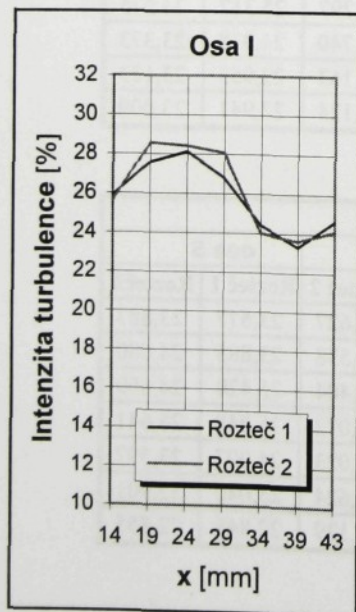
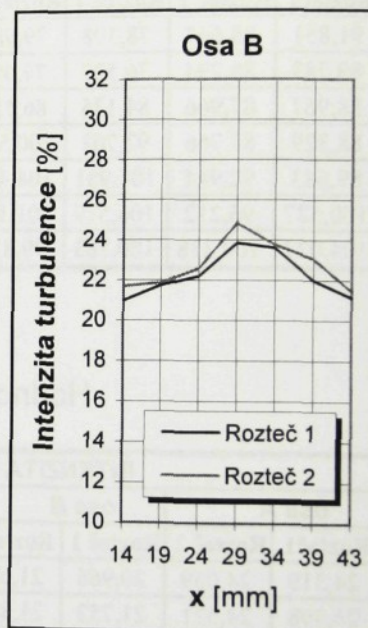
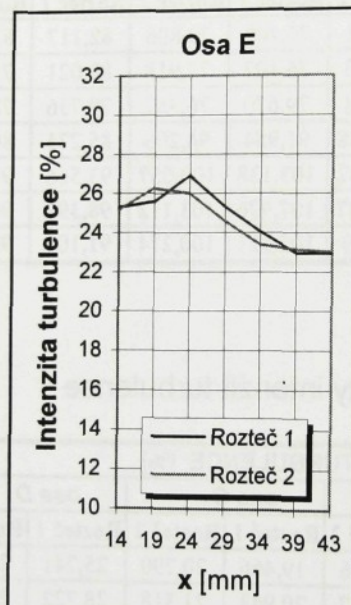
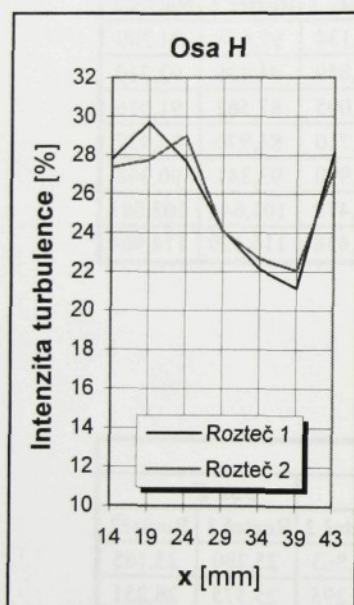
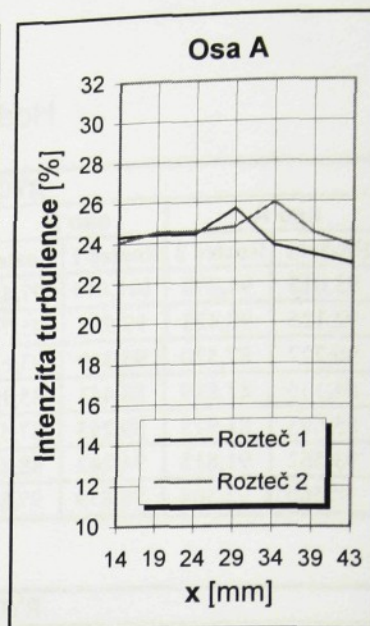
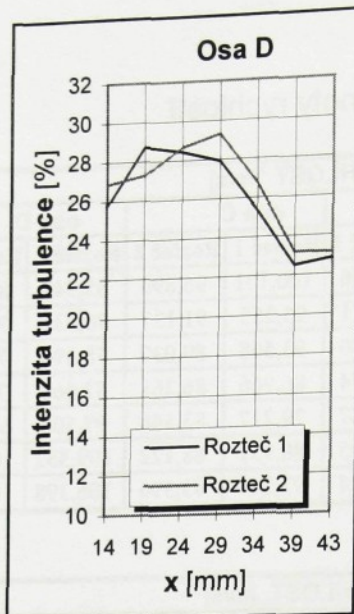
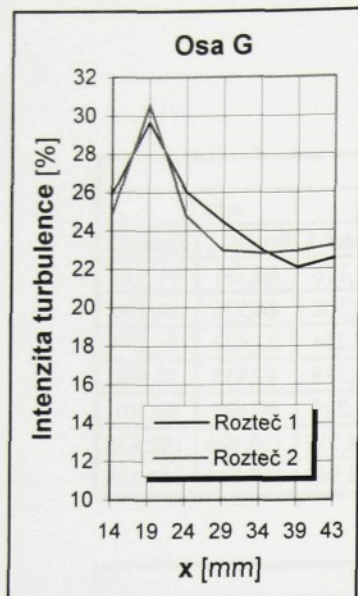
x [mm]	RYCHLOST [m/s]									
	osa A		osa B		osa C		osa D		osa E	
	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2
14	93,015	94,279	101,014	97,436	100,101	96,890	85,942	82,176	88,751	91,749
19	92,125	90,423	99,931	95,711	95,255	91,137	76,931	78,508	86,576	84,186
24	90,227	87,520	95,349	93,630	93,568	89,037	78,390	77,254	83,421	86,173
29	84,135	83,819	88,443	85,194	86,966	86,261	82,066	74,718	87,957	90,028
34	85,693	81,975	89,243	87,587	79,217	83,586	97,508	94,289	96,523	99,301
39	93,562	91,815	94,242	88,895	88,931	88,122	109,332	104,317	103,925	102,838
43	98,566	95,304	98,839	97,824	93,247	95,396	106,398	102,942	105,819	104,108

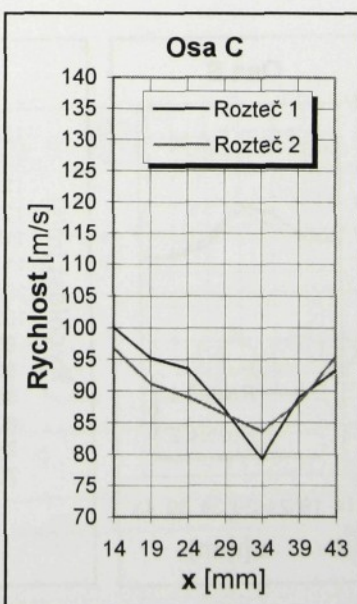
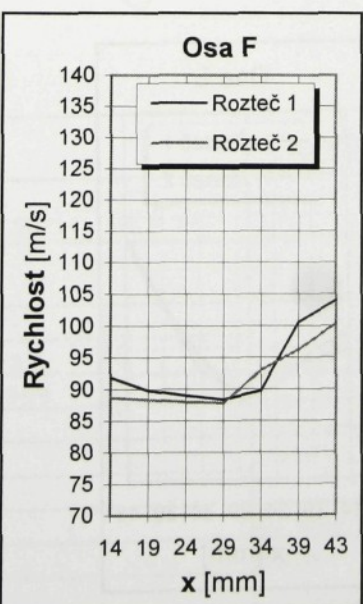
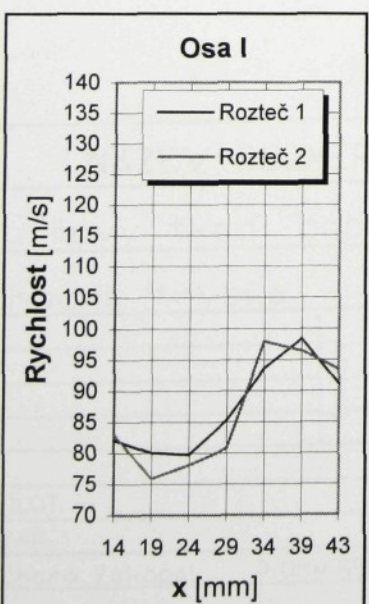
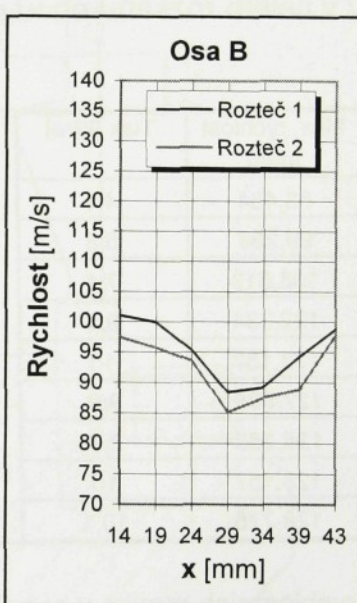
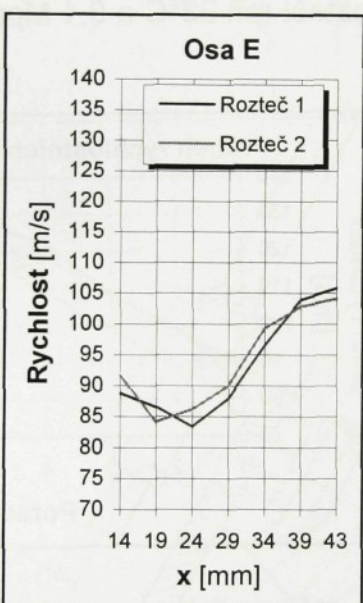
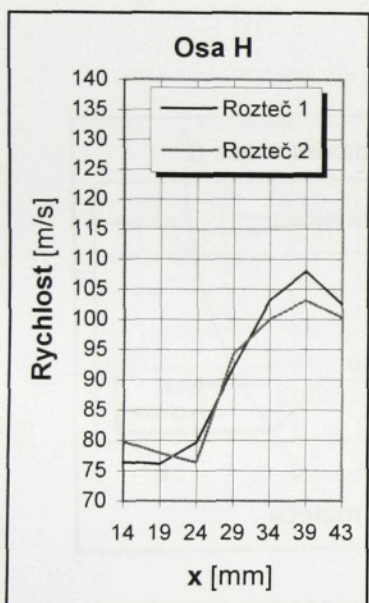
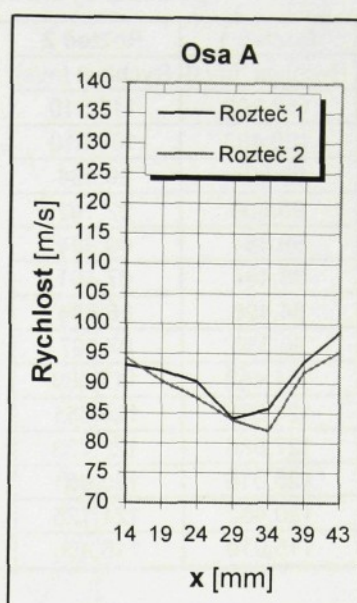
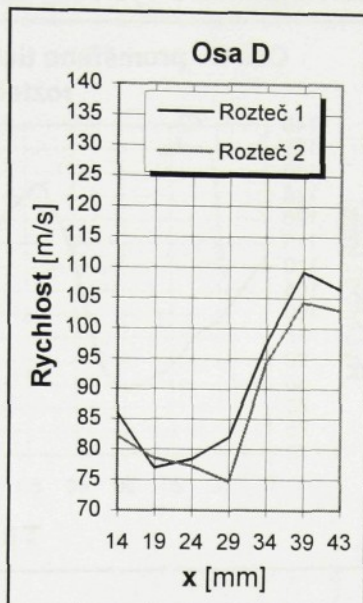
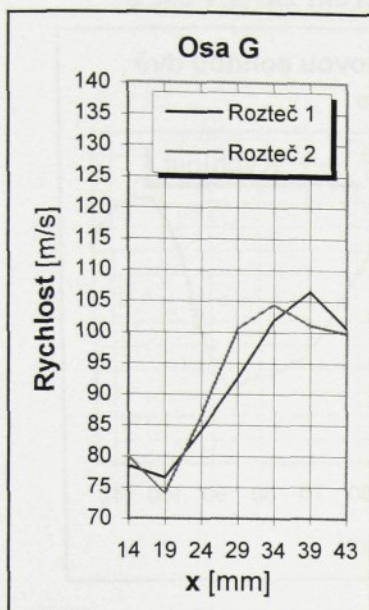
x [mm]	RYCHLOST [m/s]									
	osa F		osa G		osa H		osa I		osa S	
	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2
14	91,851	88,647	78,398	79,981	76,409	79,806	82,117	83,134	97,478	94,209
19	89,783	88,294	76,527	74,013	76,107	77,918	80,021	75,849	94,426	92,710
24	88,967	87,966	84,135	86,558	79,670	76,387	79,736	78,095	87,562	91,016
29	88,329	87,766	92,703	100,588	91,954	94,206	85,275	80,710	84,970	86,937
34	89,683	92,944	101,931	104,482	103,138	100,057	93,566	97,920	93,341	90,348
39	100,527	96,212	106,579	101,187	107,976	103,112	98,392	96,478	103,644	102,881
43	104,027	100,338	100,783	99,819	102,521	100,274	91,107	93,438	116,129	114,964

Hodnoty intenzit turbulence

x [mm]	INTENZITA TURBULENCE [%]									
	osa A		osa B		osa C		osa D		osa E	
	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2
14	24,319	24,059	20,966	21,696	19,466	20,790	25,741	26,863	25,280	25,165
19	24,398	24,521	21,752	21,867	20,943	21,318	28,722	27,295	25,575	26,251
24	24,428	24,551	22,183	22,582	21,514	22,315	28,420	28,670	26,904	25,996
29	25,656	24,737	23,849	24,833	22,735	23,260	27,922	29,297	25,317	24,575
34	23,821	25,950	23,609	23,765	26,082	24,496	25,354	26,740	24,038	23,373
39	23,368	24,455	22,007	23,065	22,848	22,376	22,474	23,163	22,955	23,123
43	22,907	23,784	21,152	21,473	21,263	21,709	22,817	23,124	22,941	23,009

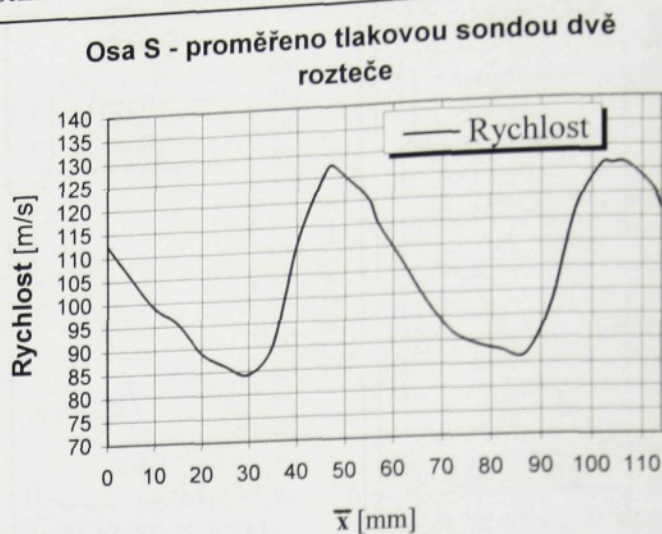
x [mm]	INTENZITA TURBULENCE [%]									
	osa F		osa G		osa H		osa I		osa S	
	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2
14	24,625	25,177	25,890	24,822	27,787	27,348	25,896	25,627	23,677	23,883
19	24,872	25,321	29,666	30,566	29,696	27,742	27,577	28,558	23,885	24,080
24	25,163	25,224	26,056	24,801	27,670	29,013	28,123	28,404	25,420	24,669
29	26,638	25,998	24,458	22,960	24,144	24,087	26,822	28,072	26,048	25,641
34	24,816	24,204	23,057	22,807	22,401	22,653	24,428	24,023	24,007	23,597
39	23,335	23,714	22,125	22,924	21,137	22,053	23,338	23,624	23,040	22,901
43	22,832	22,916	22,533	23,227	28,115	27,226	24,648	24,129	22,848	22,855





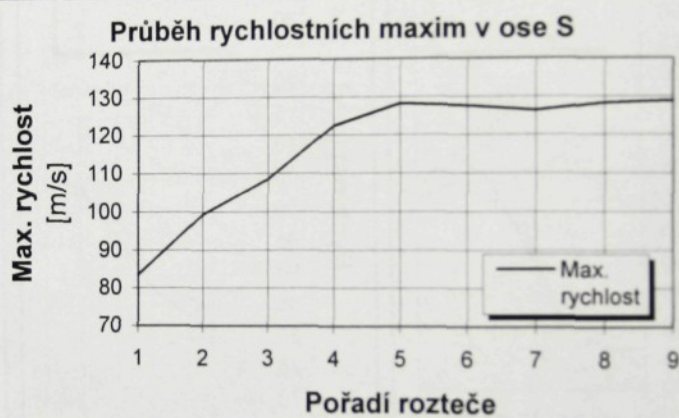
Charakteristická rychlostní vlna ve dvou roztečích, průběh rychlostních maxim a výsledky měření LDA v ose S

x [mm]	Rozteč 1	Rozteč 2
	Rychlost [m/s]	Rychlost [m/s]
0	112,890	115,010
5	105,483	107,010
10	99,294	98,434
15	95,809	92,192
20	89,384	89,384
25	86,484	87,461
30	84,496	86,484
35	90,330	97,567
40	111,452	117,088
45	124,377	125,651
47	127,536	126,283
50	125,016	125,651
55	120,462	121,125
57	115,010	116,400

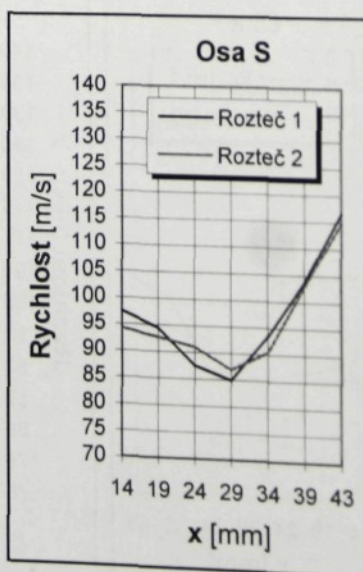
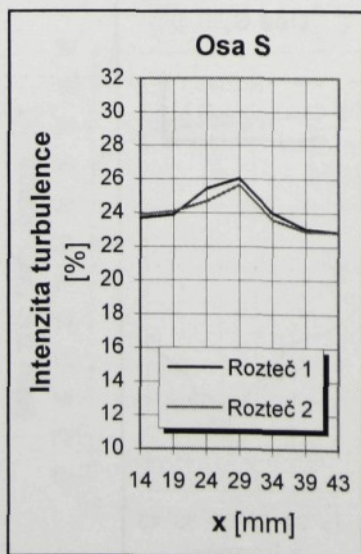


Charakteristická rychlostní vlna, měřeno tlakovou sondou v celém rozsahu obou roztečí (při 23°C a 0,1 Mpa)

Rozteč	Max. rychlost [m/s]	Tlak [kPa]
1	83,484	4,1
2	99,294	5,8
3	108,513	7,1
4	122,334	9,1
5	128,157	10
6	127,536	9,9
7	126,283	9,7
8	128,157	10
9	128,775	10,1

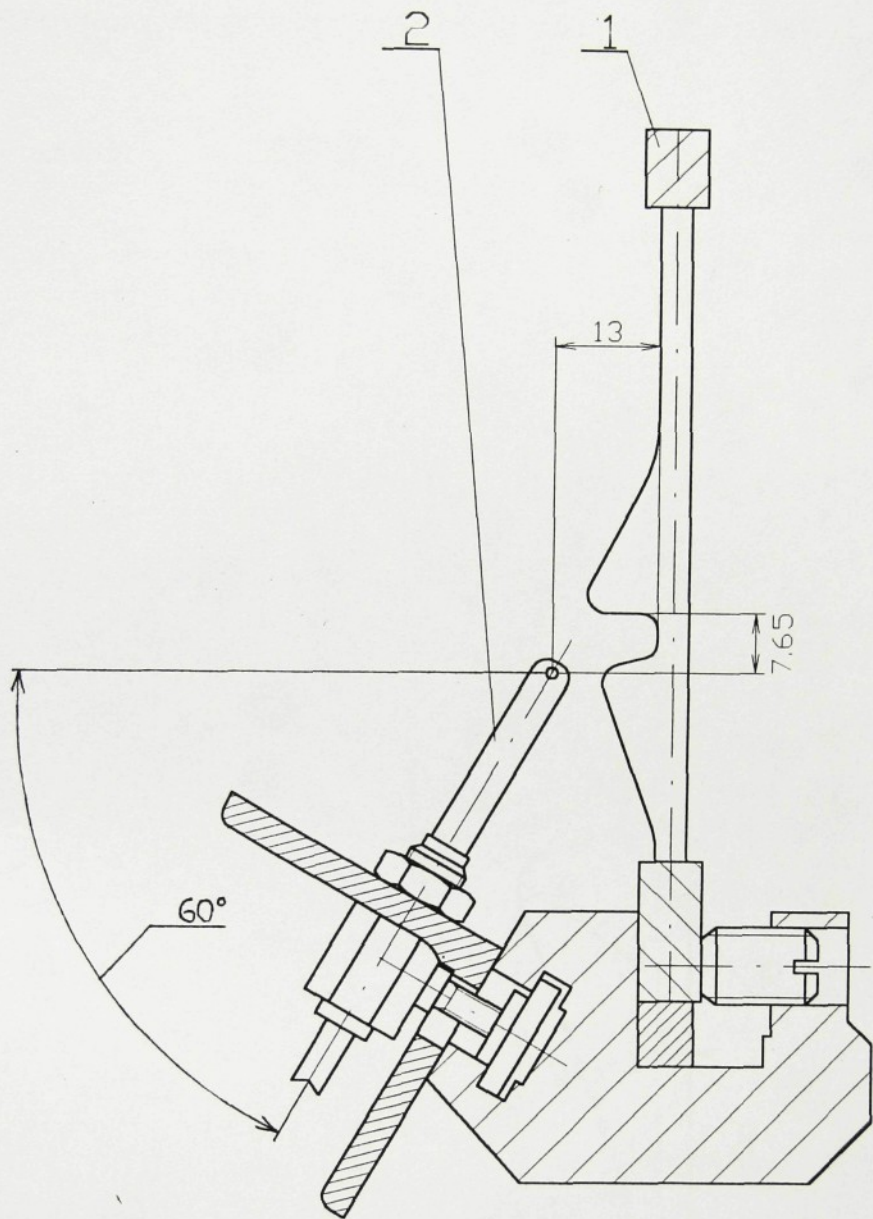


Průběh rychlostních maxim v ose S - měřeno tlakovou sondou při 23°C a 0,1 MPa

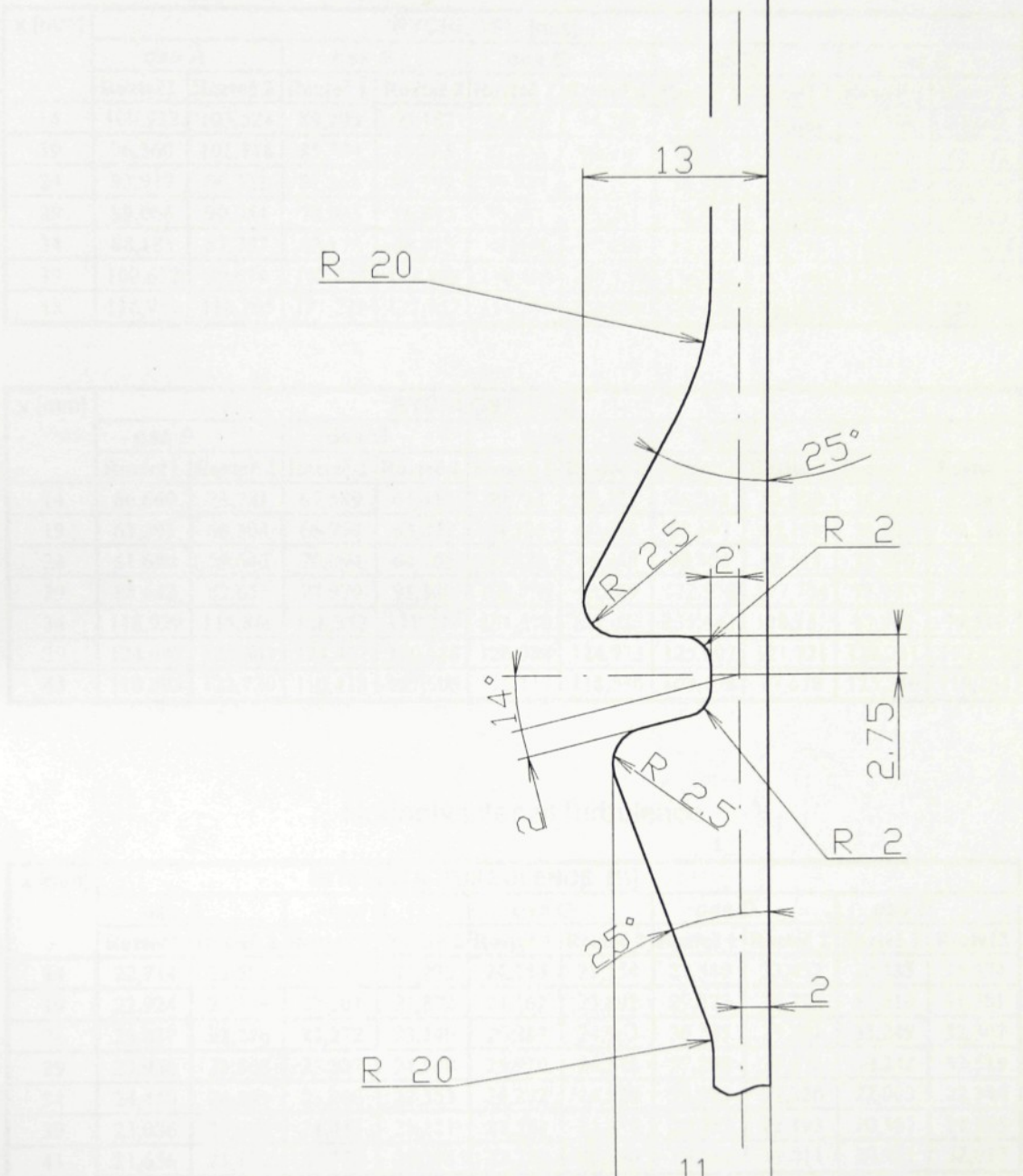


Průběhy rychlostí a intenzit turbulence v ose S - MĚŘENO LDA

Konstrukční varianta č.1



PO.		NÁZEV-ROZMĚR		VYKRES		MATERIÁL		J.	MN.	HMO.
1		Profilový tkací paprsek ALFA							1	
2		Pomocná tryska							10	
INDEX	ZMĚNA			DATUM	28.5.	PODPIS	TU LIBEREC			
		1999								
ZN. MAT.				T.O.		HMOTNOST kg		MĚŘ.		1:1
ROZM.-POLOT.								Č. SN.		TŘ. Č.
Č. POM. ZAŘ.						POZN.		Č.KUSOVNÍKU		
VYPR. Richard Zakopal		NORM.REF.				STARÝ V.		Č.V.		
PŘEZK.										
TECHN.		SCHVÁLIL								
NÁZEV				FS-TT-02						
KONSTRUKČNÍ VARIANTA č. 2				Listů		List				



INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS	TU LIBEREC	
		28.5			
		1999			
ZN. MAT.			T.O.	HMOTNOST kg	MĚŘ. 2:1
ROZM.-POLOT.					
Č. POM. ZAR.				Č. SN.	TŘ. Č.
VYPR. Richard Zakopal		NORM.REF.		POZN.	Č.KUSOVNÍKU
PŘEZK.					
TECHN.		SCHVÁLIL		STARÝ V.	Č.V.
NÁZEV			Detail vodícího kanálu tkacího paprsku ALFA FS-TT-05 Listů List		

Hodnoty rychlostí

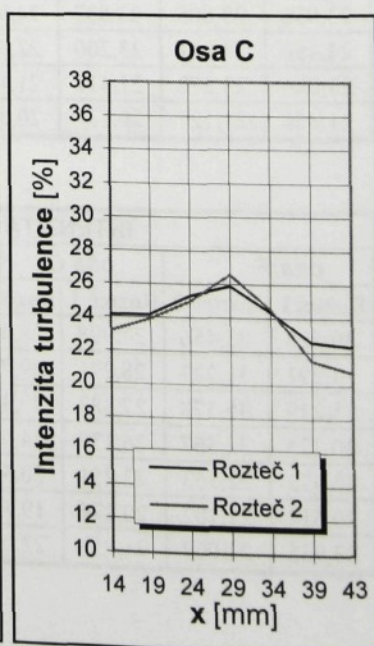
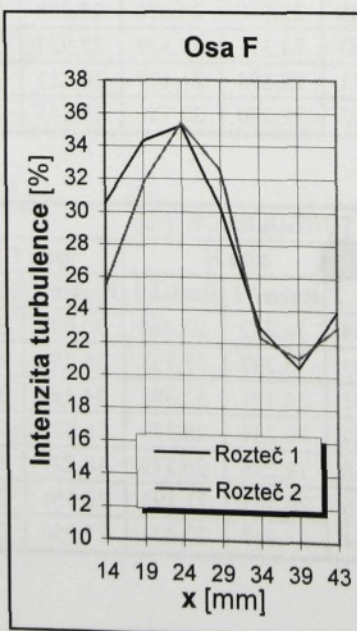
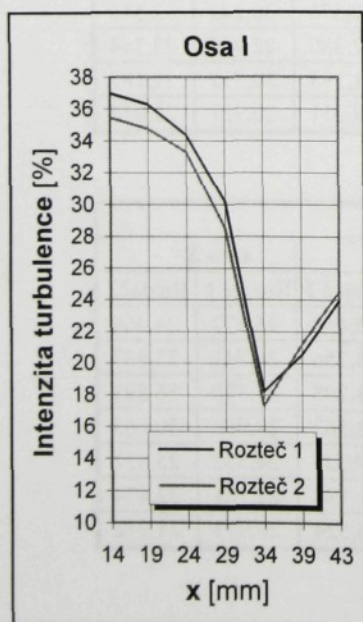
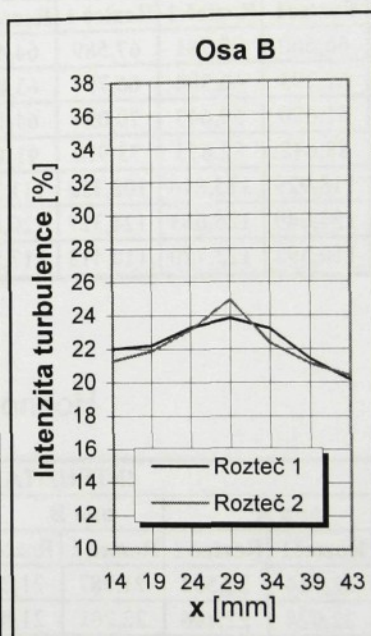
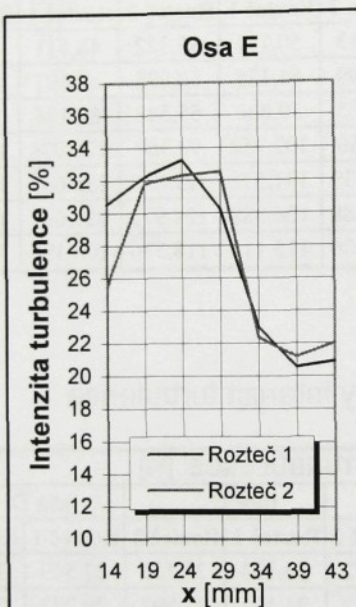
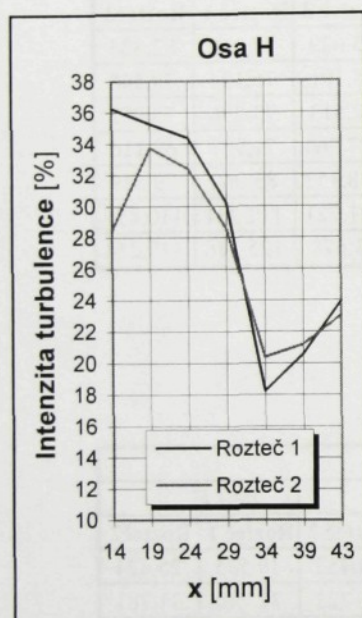
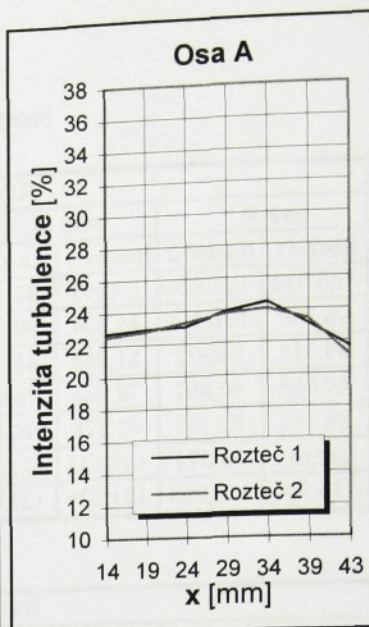
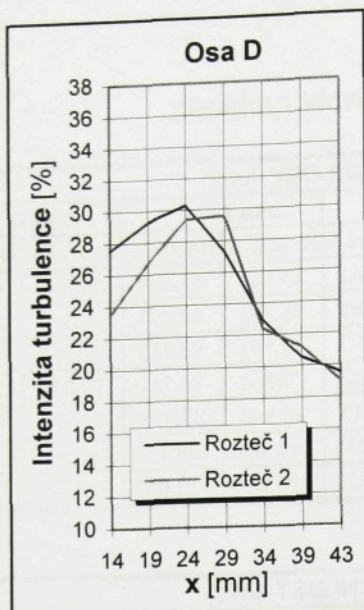
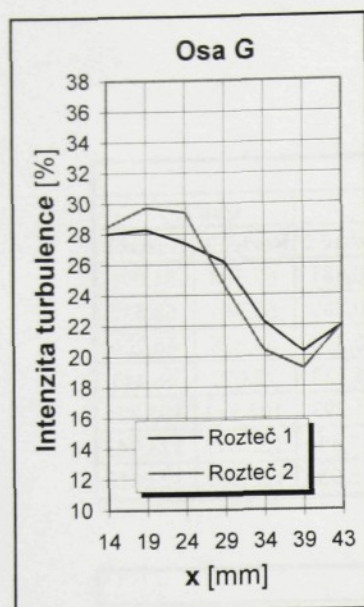
x [mm]	RYCHLOST [m/s]									
	osa A		osa B		osa C		osa D		osa E	
	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2
14	100,932	103,524	89,293	93,162	85,965	94,288	81,889	90,881	67,398	81,091
19	96,360	101,718	85,504	89,365	83,283	88,094	78,319	80,889	65,583	68,532
24	93,917	96,322	81,268	85,792	79,743	82,255	74,588	75,354	64,628	66,220
29	89,066	90,054	78,903	76,882	77,861	75,561	78,833	75,138	72,073	66,443
34	88,183	87,757	82,178	88,415	85,943	87,438	89,141	94,293	107,922	105,825
39	100,612	99,674	107,844	111,235	110,405	109,159	116,956	117,446	125,647	123,743
43	116,941	118,205	121,229	123,857	115,250	119,058	129,320	126,950	125,362	123,410

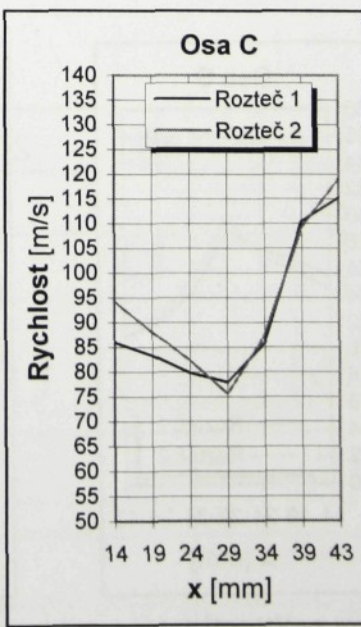
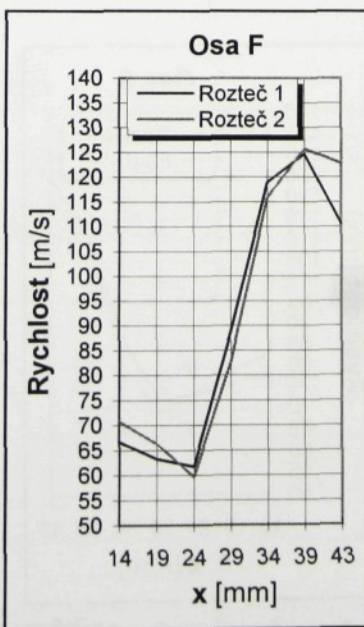
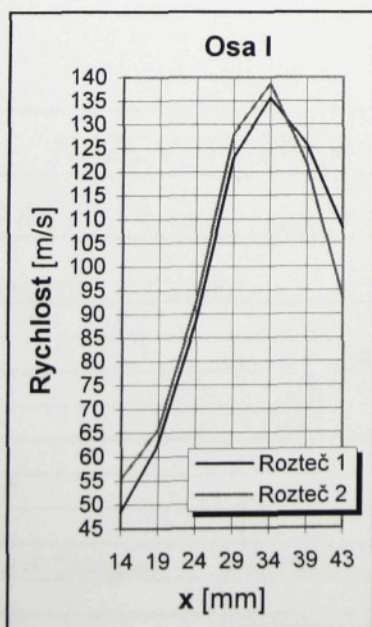
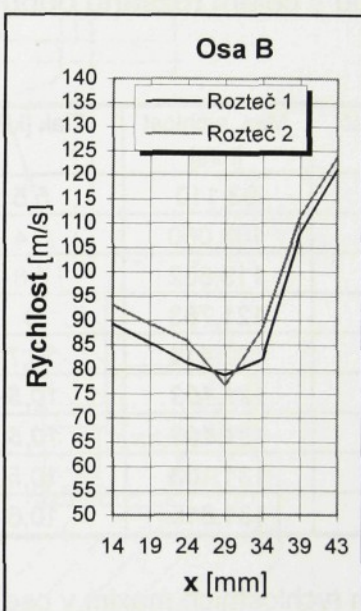
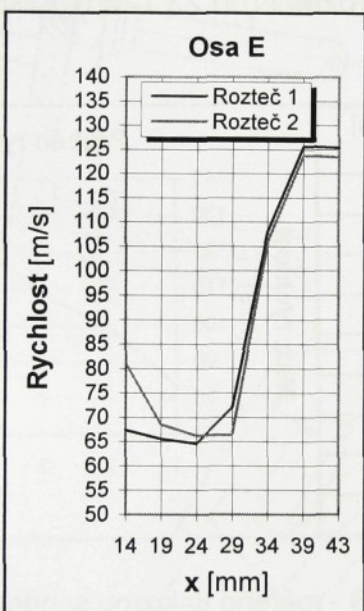
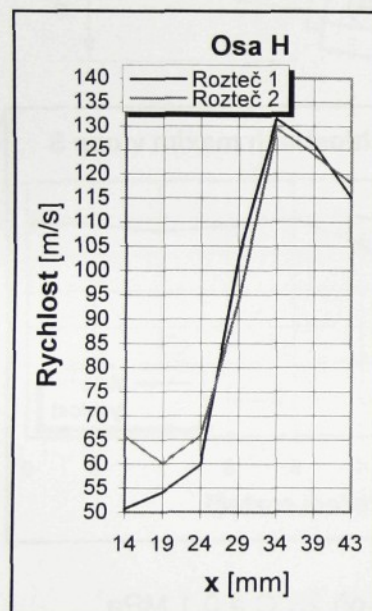
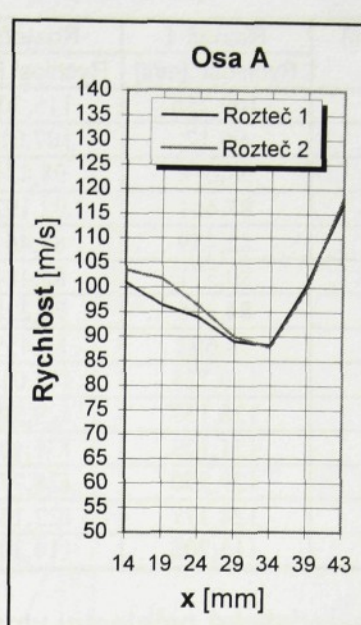
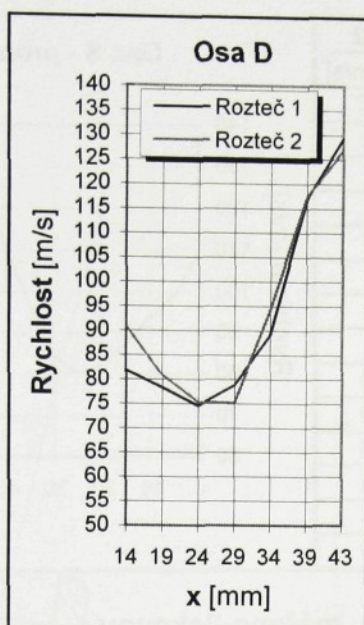
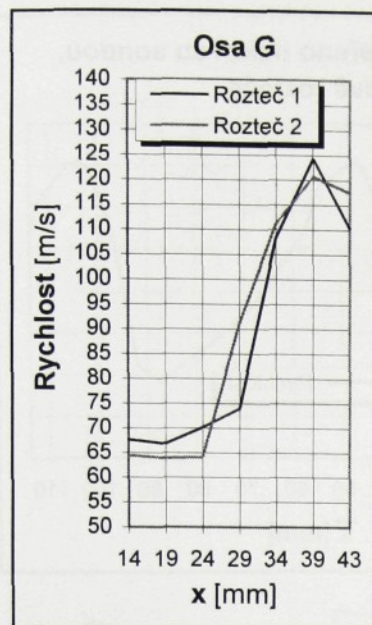
x [mm]	RYCHLOST [m/s]									
	osa F		osa G		osa H		osa I		osa S	
	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2
14	66,660	70,781	67,589	64,413	50,711	65,322	48,511	55,629	78,018	82,885
19	63,293	66,304	66,794	63,899	54,125	60,078	62,697	65,101	76,124	79,348
24	61,680	59,643	70,094	64,105	59,820	65,548	88,304	92,513	73,296	73,952
29	88,642	82,655	73,970	91,180	102,758	93,389	122,978	127,764	71,957	69,116
34	118,929	115,846	108,352	111,239	131,578	129,023	135,643	138,157	85,962	79,539
39	124,649	125,663	124,327	120,688	126,088	124,975	125,697	121,721	112,231	110,879
43	110,593	122,720	110,413	117,506	115,111	118,536	108,198	93,678	125,246	119,254

Hodnoty intenzit turbulence

x [mm]	INTENZITA TURBULENCE [%]									
	osa A		osa B		osa C		osa D		osa E	
	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2
14	22,714	22,503	21,987	21,272	24,133	23,154	27,549	23,452	30,535	25,474
19	22,924	22,796	22,201	21,872	24,162	23,892	29,272	26,722	32,210	31,781
24	23,037	23,286	23,272	23,140	25,287	24,965	30,285	29,391	33,249	32,307
29	23,936	23,805	23,837	24,948	25,910	26,576	27,298	29,576	30,242	32,518
34	24,450	24,041	23,200	22,353	24,372	24,529	22,923	22,380	22,983	22,344
39	23,086	23,372	21,411	21,121	22,593	21,477	20,513	21,193	20,557	21,185
43	21,656	21,127	20,137	20,393	22,320	20,780	19,545	19,011	20,921	22,017

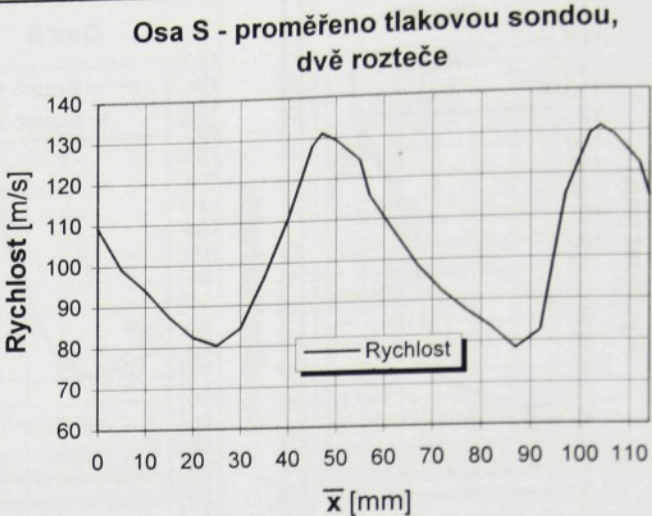
x [mm]	INTENZITA TURBULENCE [%]									
	osa F		osa G		osa H		osa I		osa S	
	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2
14	30,525	25,456	27,998	28,464	36,262	28,444	36,987	35,452	25,472	24,469
19	34,291	31,727	28,271	29,723	35,297	33,733	36,281	34,756	26,741	25,937
24	35,219	35,378	27,383	29,391	34,371	32,398	34,365	33,298	27,390	26,891
29	30,225	32,567	26,130	24,587	30,234	28,570	30,222	28,563	28,969	30,063
34	22,972	22,363	22,251	20,368	18,236	20,379	18,229	17,325	24,352	25,421
39	20,514	21,102	20,274	19,186	20,567	21,192	20,551	21,198	22,181	22,474
43	23,935	23,009	21,953	22,004	23,947	23,024	23,950	24,524	20,933	21,912





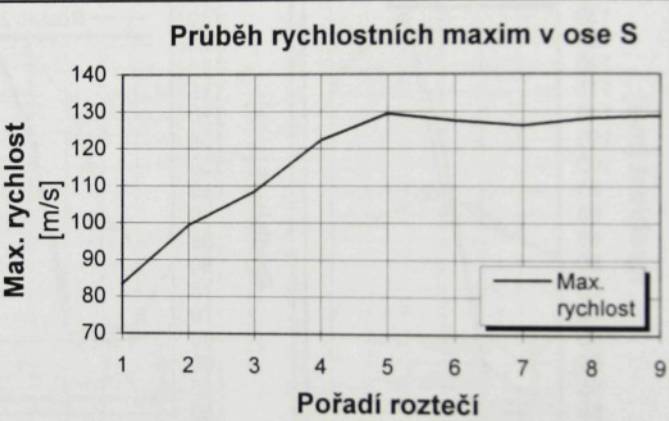
Charakteristická rychlostní vlna ve dvou roztečích,
průběh rychlostních maxim a výsledky měření LDA v ose S

x [mm]	Rozteč 1	Rozteč 2
	Rychlost [m/s]	Rychlost [m/s]
0	109,256	115,708
5	99,12	107,010
10	94,018	98,434
15	87,461	92,192
20	82,459	87,461
25	80,371	83,484
30	84,496	78,228
35	96,692	82,459
40	110,725	115,010
45	128,157	129,390
47	131,103	131,103
50	129,390	128,775
55	124,377	122,125
57	115,708	114,309

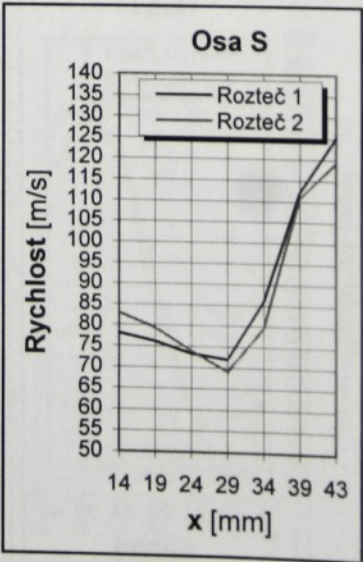
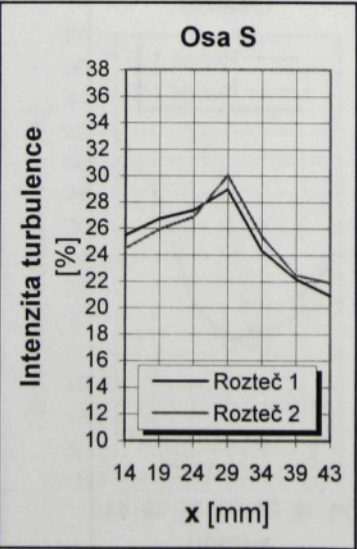


Charakteristická rychlostní vlna, měřeno tlakovou sondou v celém rozsahu obou roztečí (při 23°C a 0,1 Mpa)

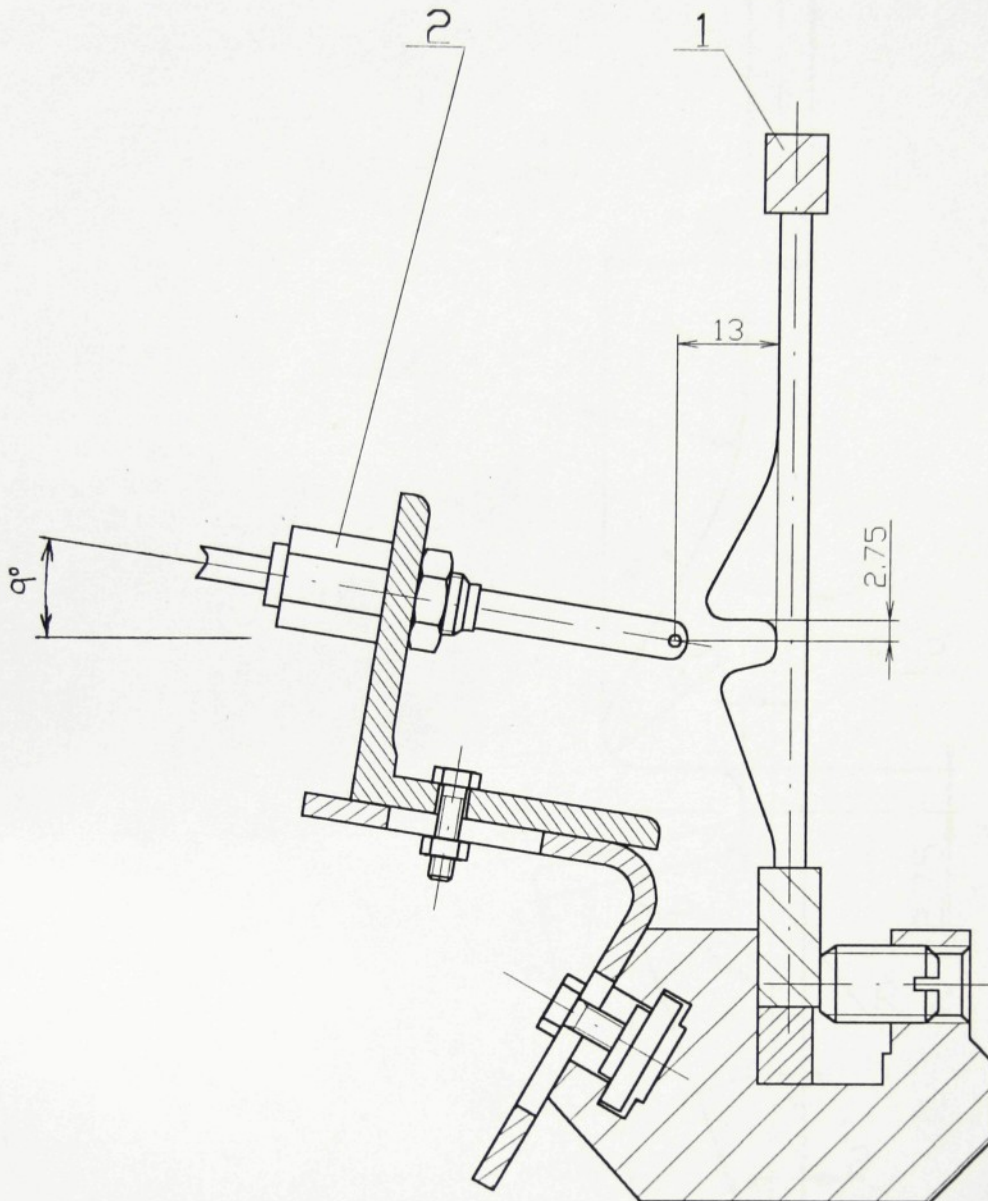
Rozteč	Max. rychlost [m/s]	Tlak [kPa]
1	93,110	5,5
2	103,060	6,4
3	113,602	7,8
4	121,783	9
5	132,414	10,7
6	131,103	10,5
7	131,103	10,5
8	131,103	10,5
9	131,815	10,6



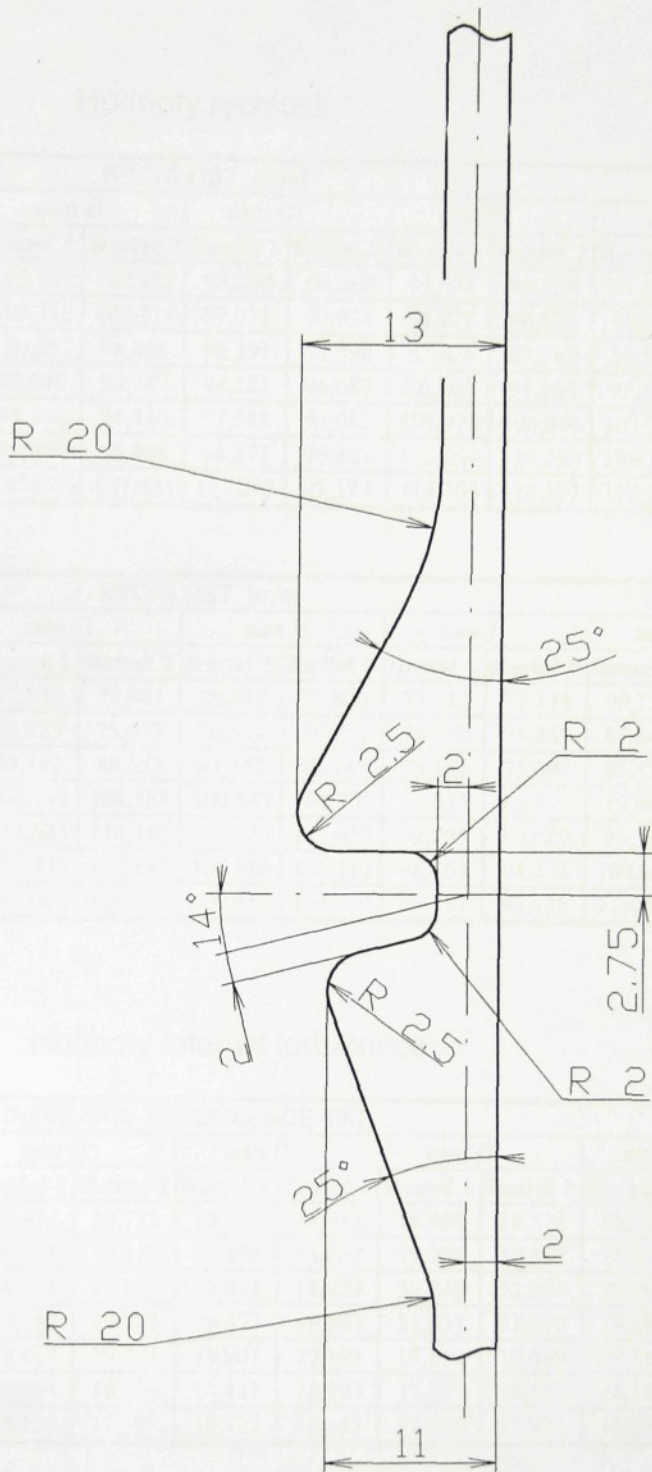
Průběh rychlostních maxim v ose S - měřeno tlakovou sondou při 23°C a 0,1 MPa



Průběhy rychlostí a intenzit turbulence v ose S - MĚŘENO LDA



PO.	NÁZEV-ROZMĚR	VYKRES	MATERIÁL	J.	MN.	HMO.
1	Profilový tkací paprsek ALFA				1	
2	Pomocná tryska				10	
INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS	TU LIBEREC		
		28.5.				
		1999				
ZN. MAT.		T.O.	HMOTNOST kg	MĚŘ. 1:1		
ROZM.-POLOT.			Č. SN.	TŘ. Č.		
Č. POM. ZAŘ.			POZN.	Č.KUSOVNÍKU		
VYPR. Richard Zakopal	NORM.REF.		STARÝ V.	Č.v.		
PŘEZK.						
TECHN.	SCHVÁLIL					
NÁZEV			FS-TT-03			
KONSTRUKČNÍ VARIANTA č. 3			Listů	List		



INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS	TU LIBEREC	
		28.5.			
		1999			
ZN. MAT.			T.O.	HMOTNOST kg	MĚŘ. 2:1
ROZM.-POLOT.					
Č. POM. ZAŘ.				Č. SN.	TŘ. Č.
VYPR. Richard Zakopal		NORM.REF.		POZN.	Č.KUSOVNÍKU
PŘEZK.					
TECHN.		SCHVÁLIL		STARÝ V.	Č.V.
NÁZEV				FS-TT-05	
Detail vodícího kanálu tkacího paprsku ALFA				Listů	List

Hodnoty rychlostí

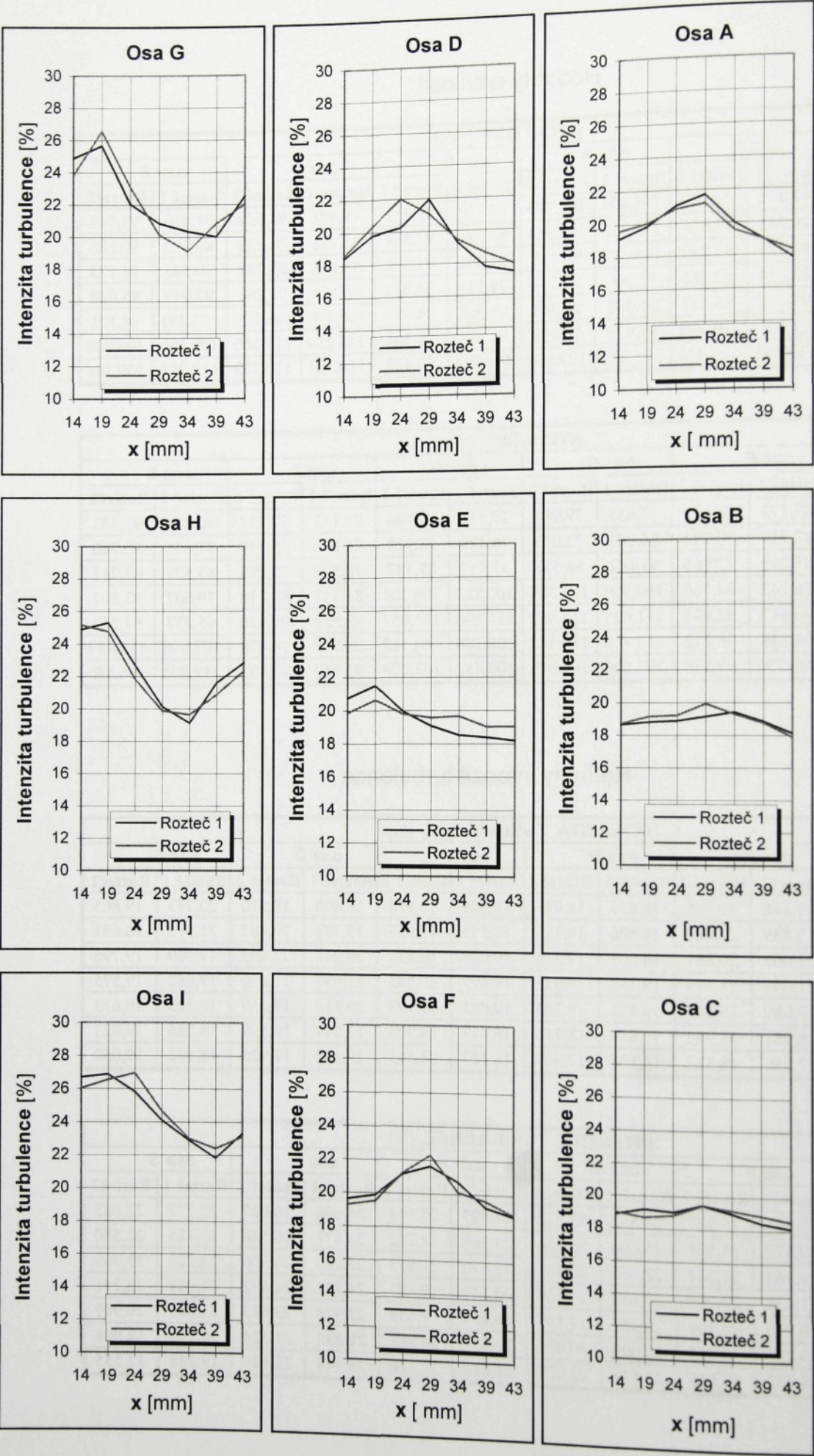
x [mm]	RYCHLOST [m/s]									
	osa A		osa B		osa C		osa D		osa E	
	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2
14	97,471	94,722	105,403	104,775	98,760	98,263	95,474	94,258	91,010	93,749
19	95,265	92,956	103,316	102,314	97,071	97,834	91,725	88,932	88,560	90,586
24	92,029	91,252	100,392	98,456	96,391	97,398	87,826	85,787	90,565	91,173
29	88,834	90,385	97,940	93,247	94,185	96,083	86,165	91,268	97,949	95,028
34	90,672	93,457	95,340	96,346	95,588	94,983	105,470	106,890	103,291	98,301
39	99,401	101,091	99,020	98,898	98,972	96,801	113,259	111,560	109,190	105,838
43	112,891	107,416	105,279	107,534	101,243	99,123	114,303	112,172	112,298	109,108

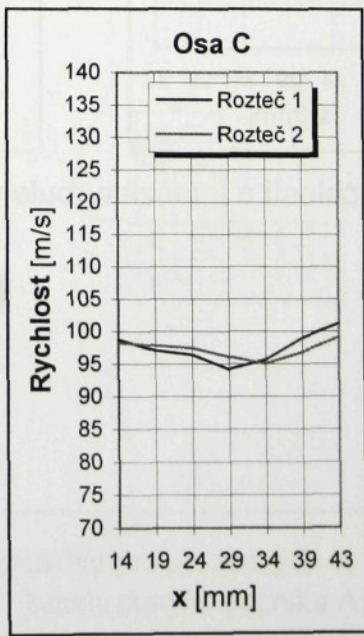
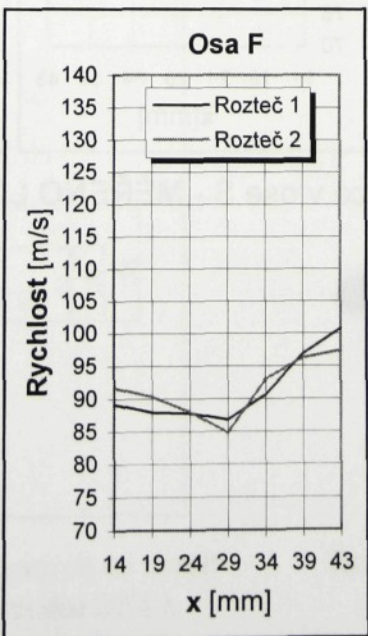
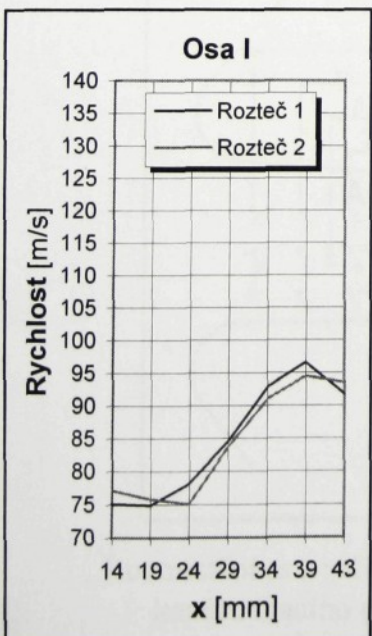
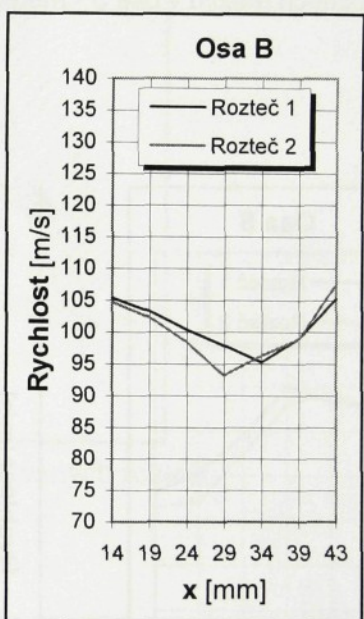
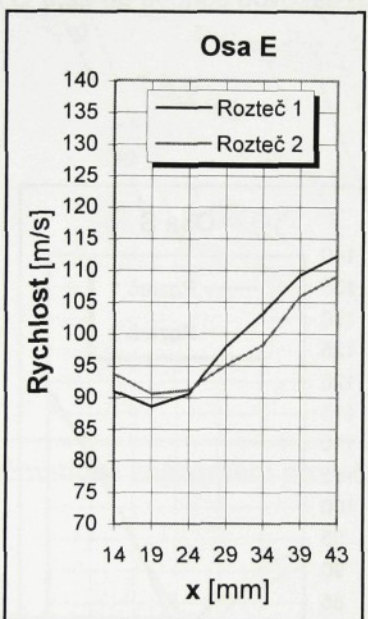
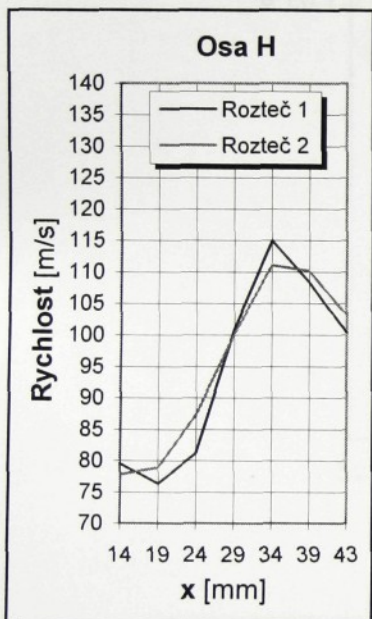
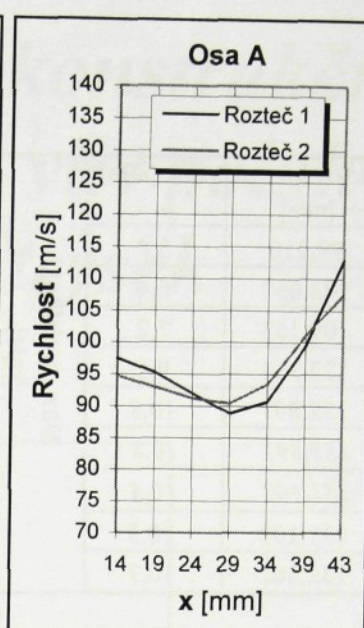
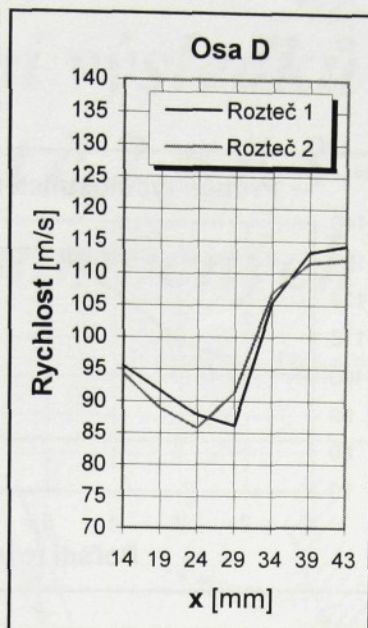
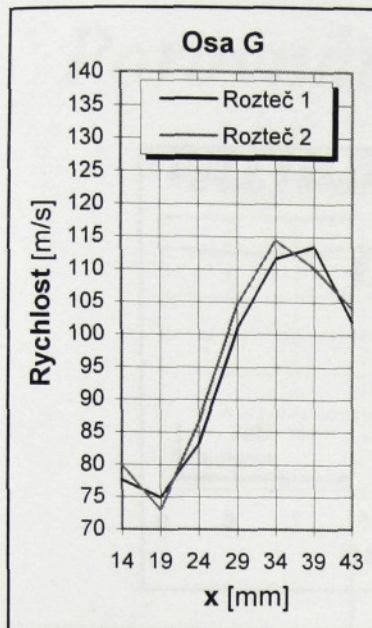
x [mm]	RYCHLOST [m/s]									
	osa F		osa G		osa H		osa I		osa S	
	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2
14	89,172	91,647	77,635	79,981	79,541	77,806	75,112	77,134	90,788	93,481
19	87,919	90,294	74,923	73,013	76,329	78,918	74,870	75,849	87,644	90,786
24	87,749	87,966	83,142	86,558	81,157	87,387	78,177	75,095	85,529	82,211
29	86,742	84,766	100,939	104,588	100,883	100,206	84,535	83,710	79,607	83,807
34	90,617	92,944	111,625	114,482	114,976	111,057	92,795	90,920	95,577	94,552
39	96,838	96,212	113,439	110,187	108,386	110,112	96,563	94,478	107,690	110,489
43	100,736	97,338	102,006	104,019	100,432	103,274	91,717	93,438	119,203	116,580

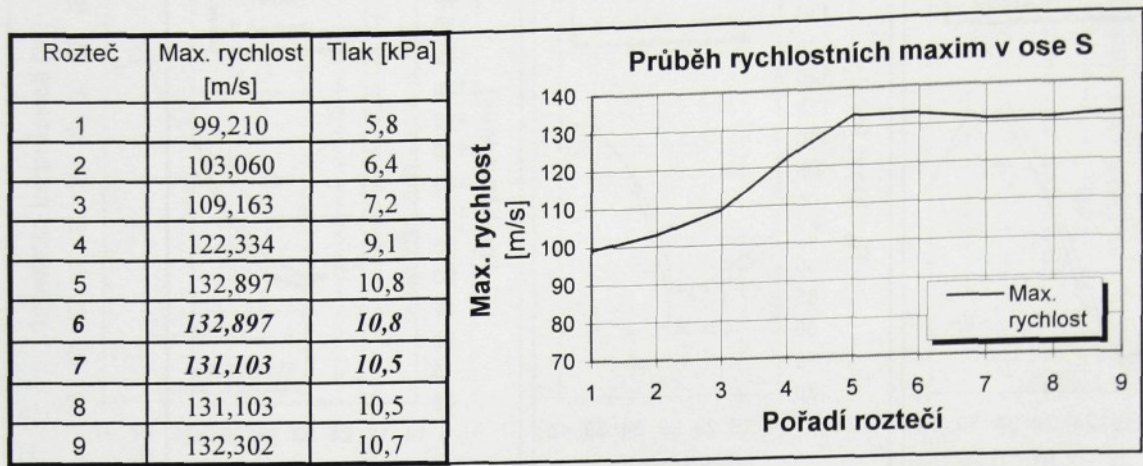
Hodnoty intenzit turbulence

x [mm]	INTENZITA TURBULENCE [%]									
	osa A		osa B		osa C		osa D		osa E	
	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2
14	19,116	19,585	18,654	18,721	18,889	18,912	18,408	18,570	20,743	19,865
19	19,839	20,020	18,806	19,152	19,195	18,657	19,798	20,357	21,513	20,651
24	21,063	20,861	18,894	19,226	19,038	18,829	20,248	22,003	19,969	19,796
29	21,695	21,179	19,152	19,935	19,477	19,863	21,937	21,070	19,082	19,575
34	19,989	19,541	19,437	19,305	19,001	19,193	19,310	19,459	18,525	19,673
39	18,981	18,962	18,854	18,770	18,447	18,905	17,747	18,598	18,386	19,023
43	17,840	18,322	18,138	17,907	18,127	18,543	17,422	17,925	18,195	19,059

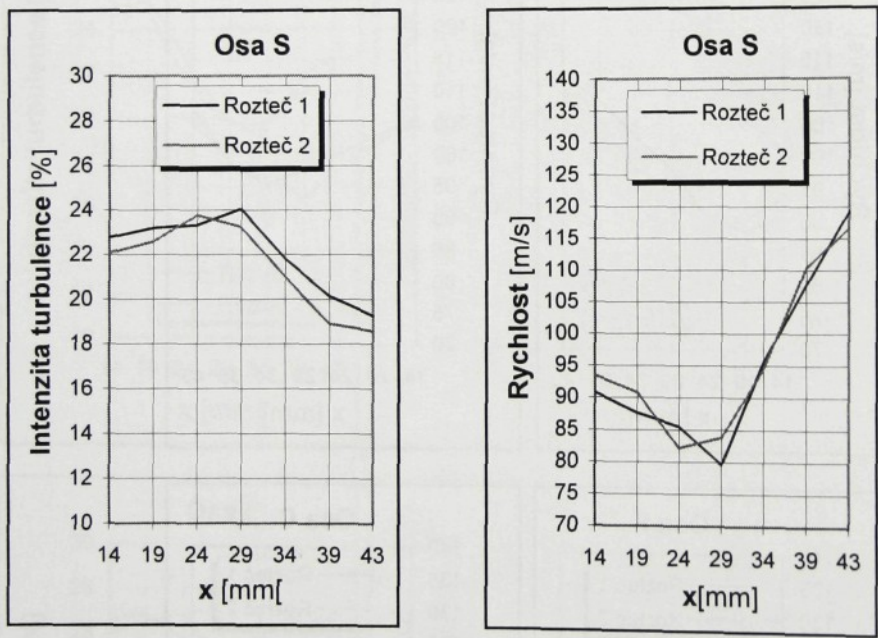
x [mm]	INTENZITA TURBULENCE [%]									
	osa F		osa G		osa H		osa I		osa S	
	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2	Rozteč 1	Rozteč 2
14	19,625	19,277	24,890	23,822	24,887	25,148	26,696	26,027	22,777	22,083
19	19,872	19,521	25,666	26,566	25,296	24,742	26,877	26,558	23,185	22,580
24	21,163	21,224	22,056	23,101	22,670	21,813	25,823	26,960	23,320	23,769
29	21,638	22,298	20,858	20,160	20,144	19,887	24,122	24,672	24,048	23,241
34	20,716	20,104	20,357	19,107	19,137	19,653	22,928	23,023	21,807	20,997
39	19,235	19,614	20,009	20,824	21,607	20,882	21,838	22,424	20,140	18,901
43	18,732	18,816	22,533	22,027	22,815	22,326	23,348	23,129	19,248	18,555







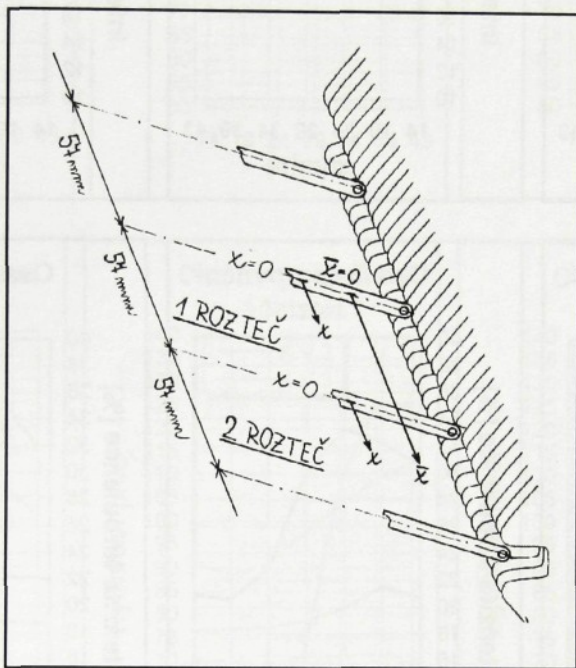
Průběh rychlostních maxim v ose S - měřeno tlakovou sondou při 22,5°C a 0,1 MPa



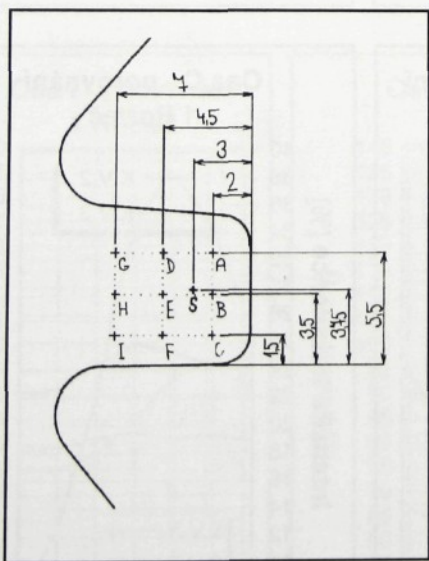
Průběhy rychlostí a intenzit turbulence v ose S - MĚŘENO LDA

***Porovnání výsledků konstrukčních
variant č.2 a č.3 - vliv polohy
pomocných trysek***

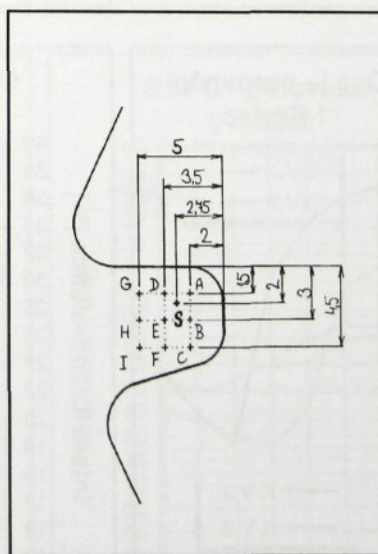
(Přílohy 19 až 22)



Schématické znázornění proměřovaných roztečí

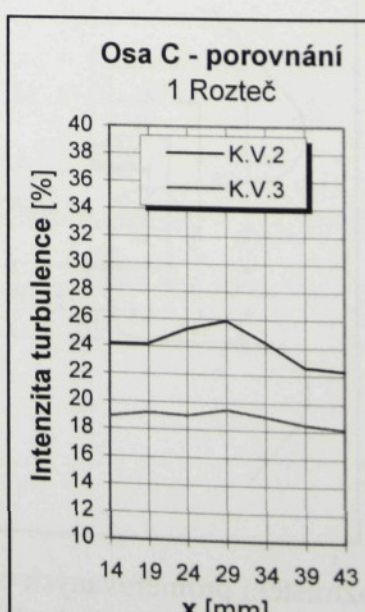
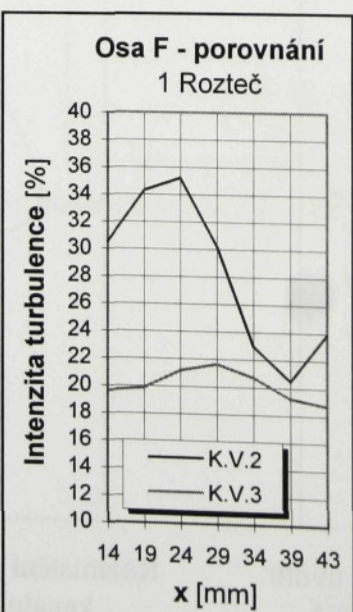
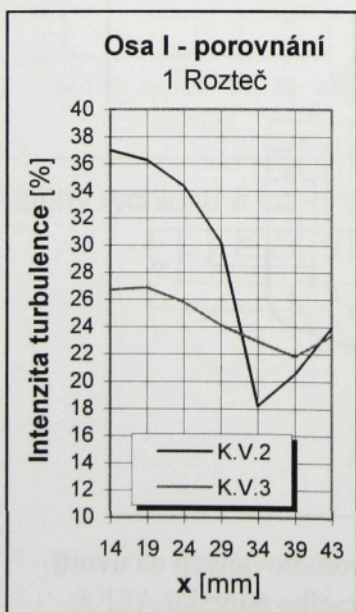
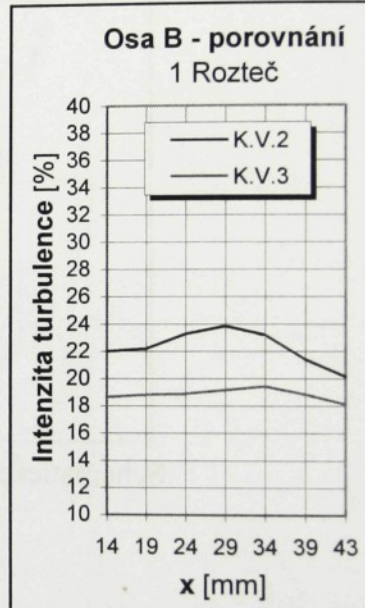
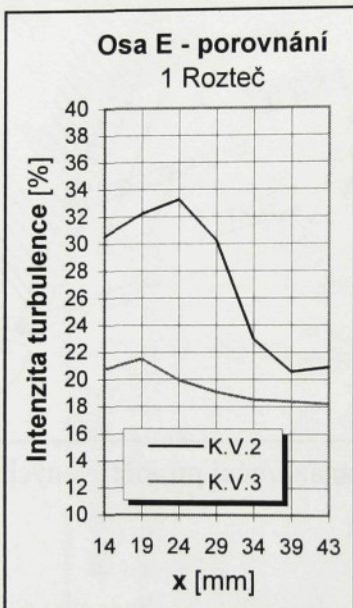
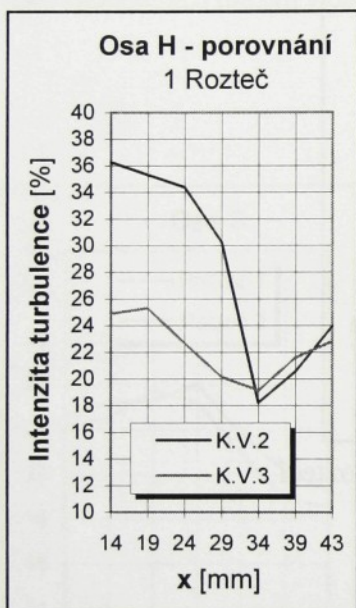
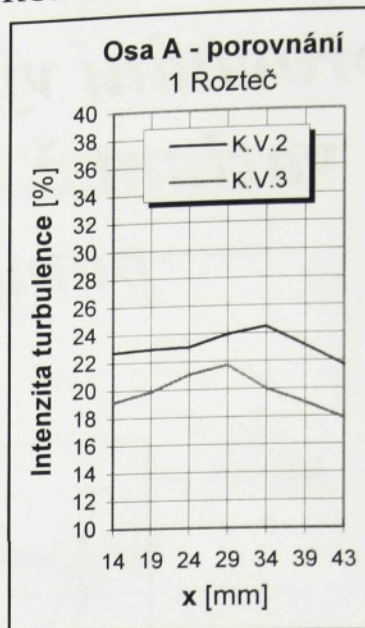
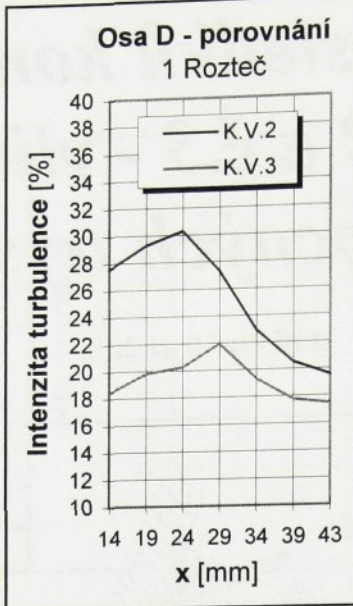
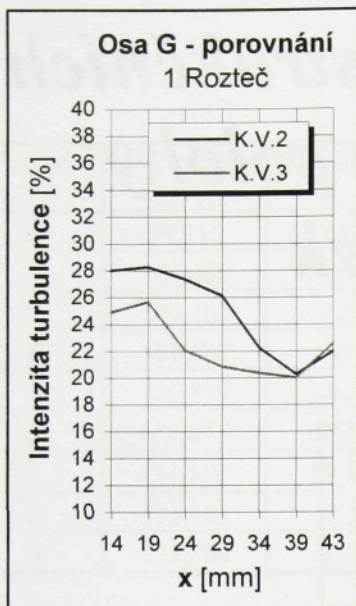


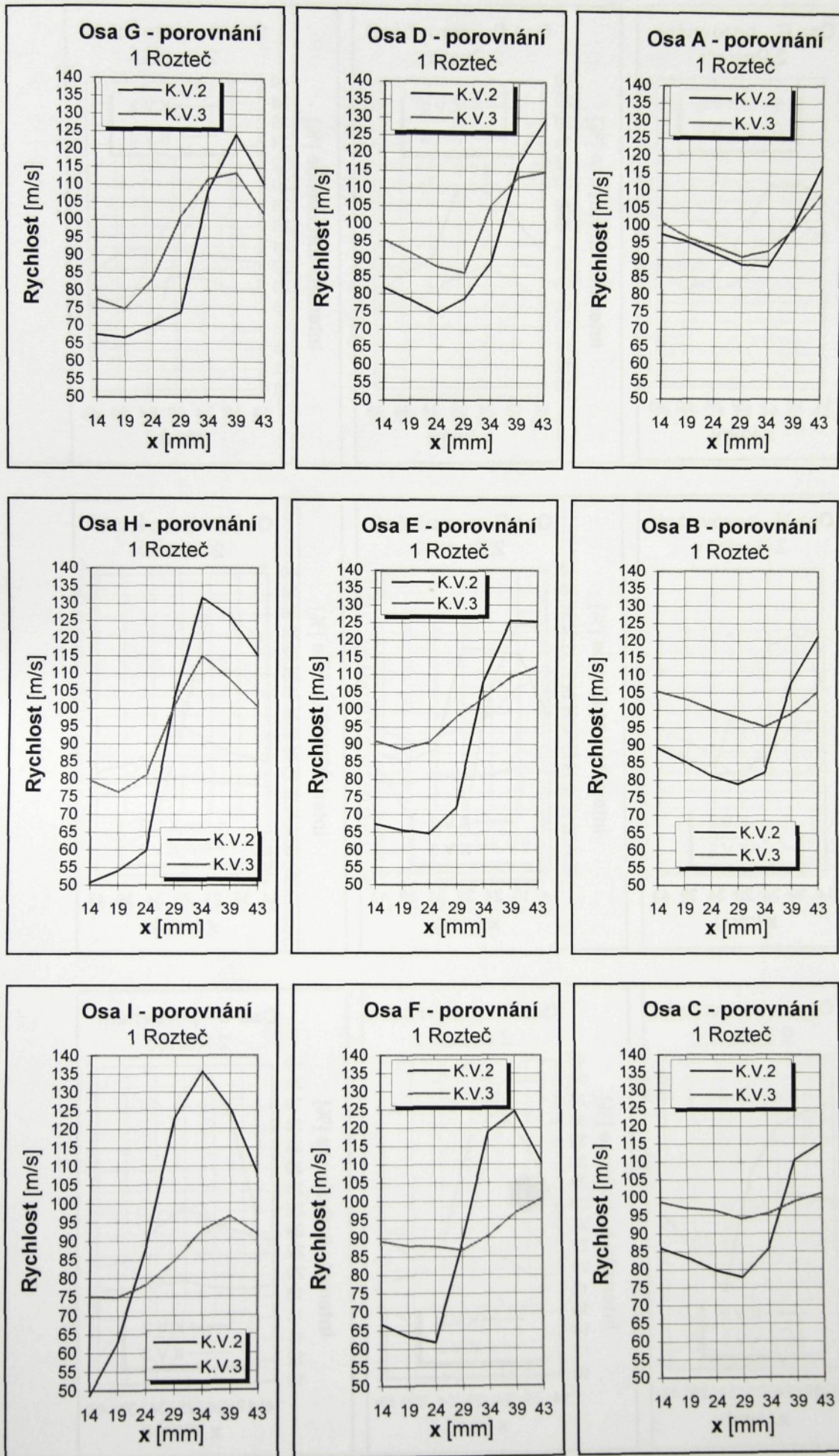
Rozmístění proměřovaných os uvnitř kanálu tkacího paprsku BETA



Rozmístění proměřovaných os uvnitř kanálu tkacího paprsku ALFA

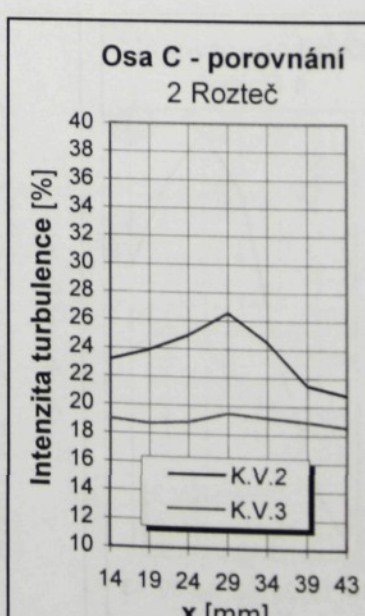
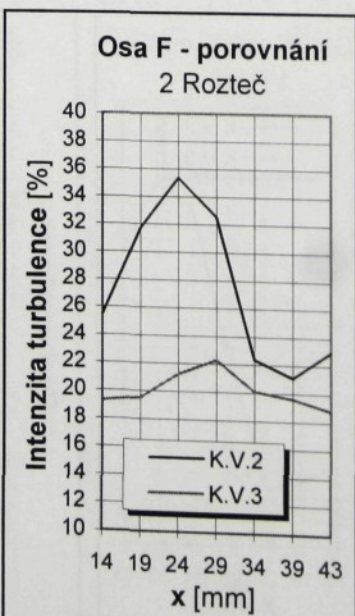
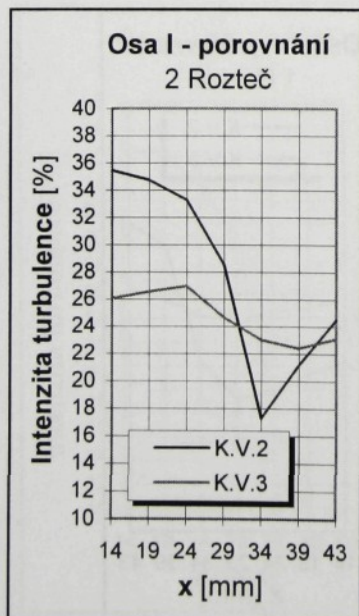
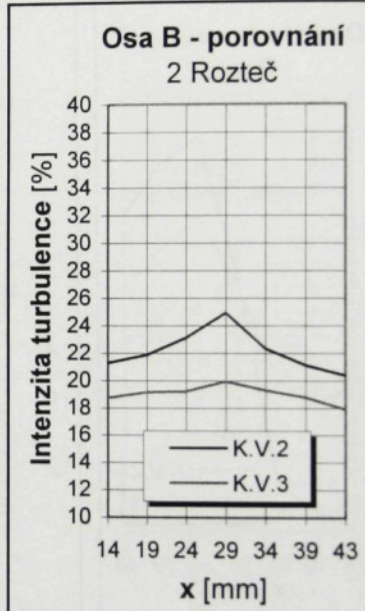
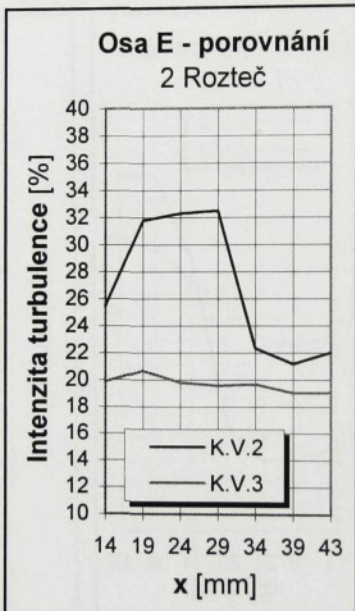
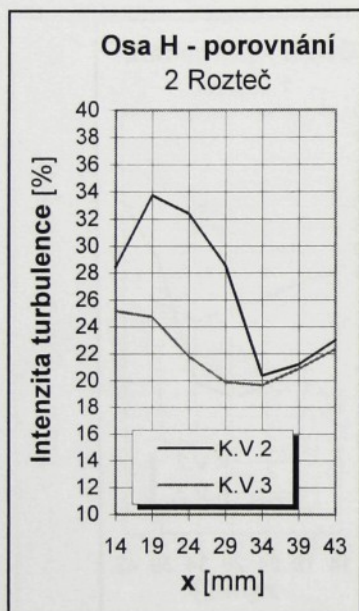
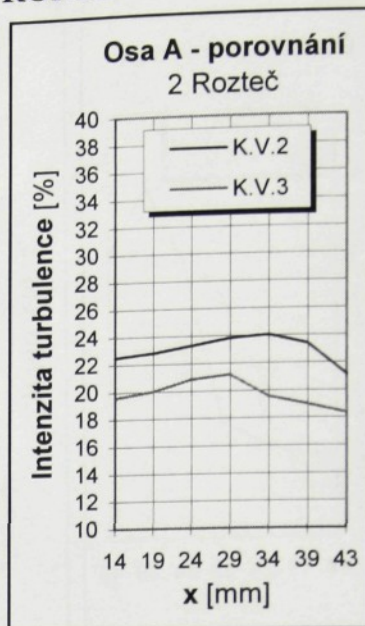
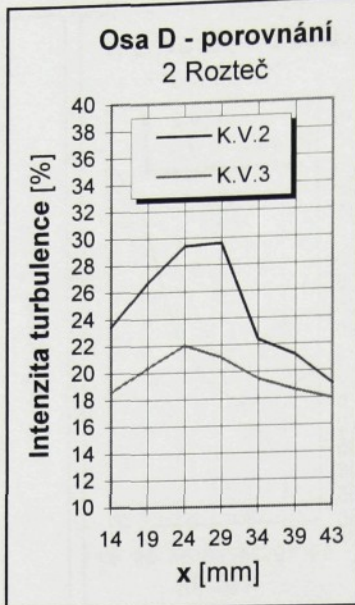
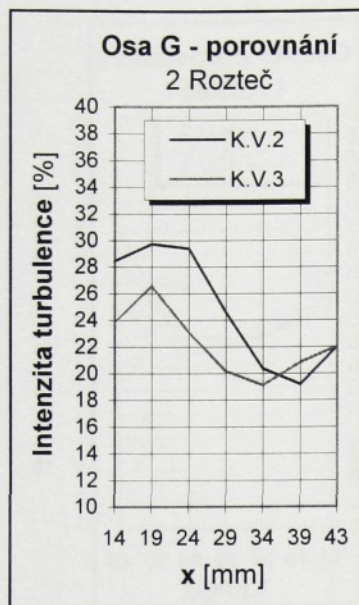
Průběhy intenzit turbulence K.V.2 a K.V.3, vliv polohy trysek - 1 ROZTEČ

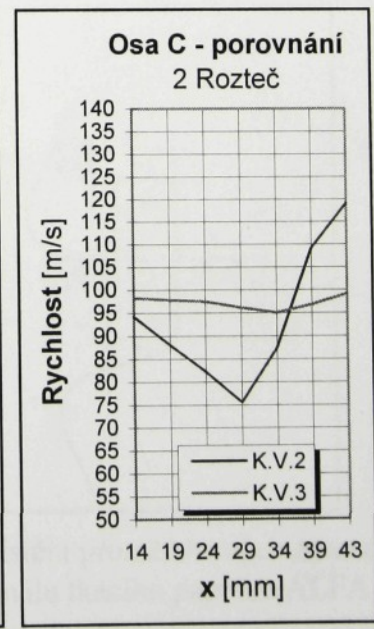
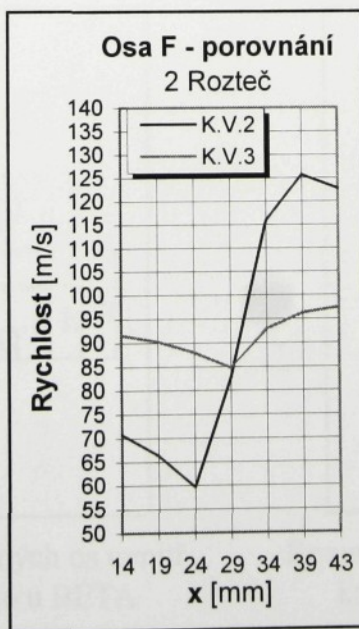
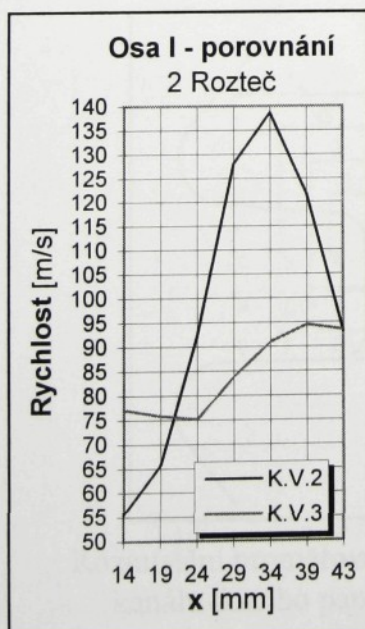
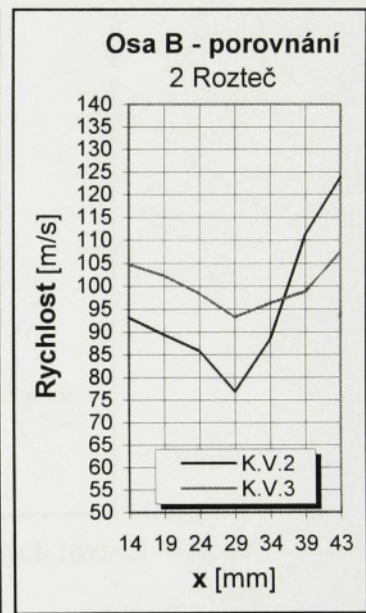
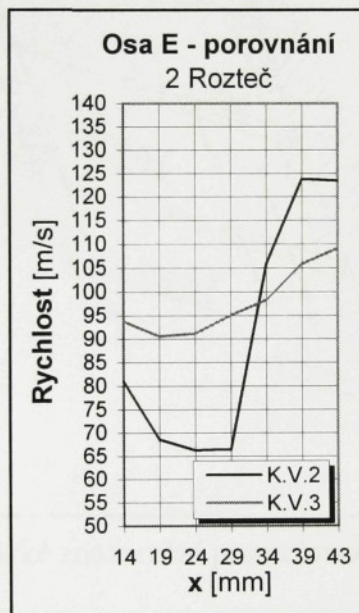
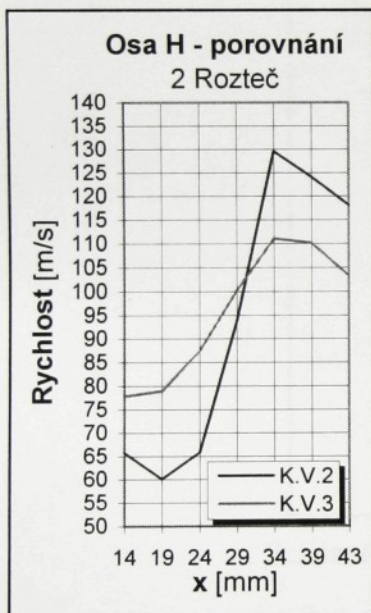
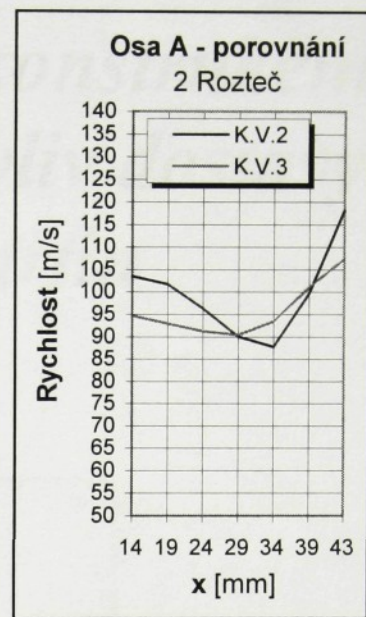
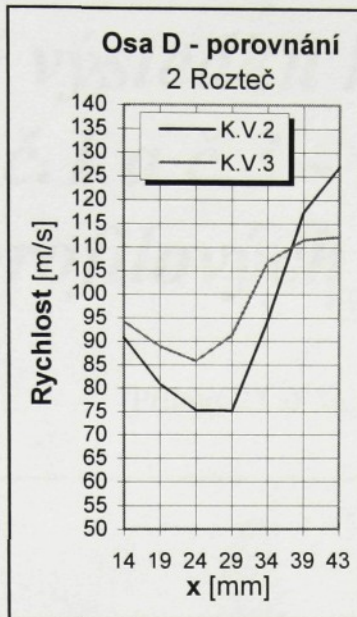
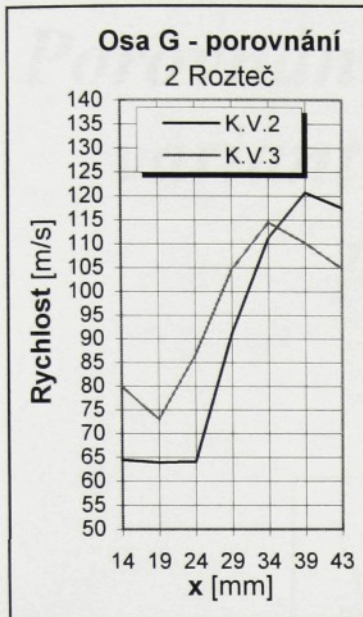




K.V.2 - Konstrukční varianta č.2 K.V.3 - Konstrukční varianta č.3

Průběhy intenzit turbulence K.V.2 a K.V.3,
vliv polohy trysek - 2 ROZTEČ

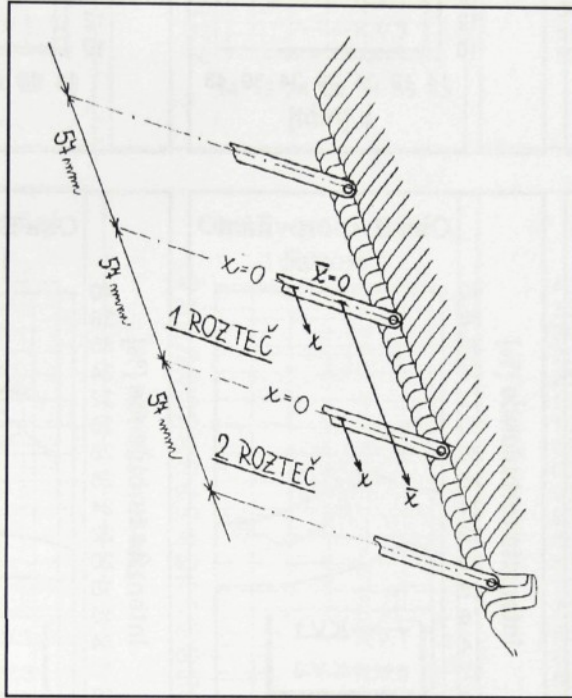




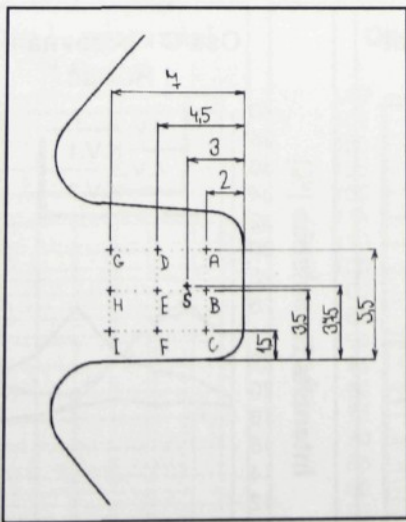
K.V.2 - Konstrukční varianta č.2 K.V.3 - Konstrukční varianta č.3

*Porovnání výsledků konstrukčních
variant č.1 a č.3 - vliv dostavy
profilových tržin*

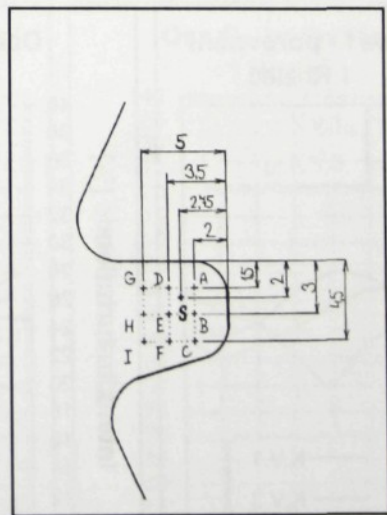
(Přílohy 23 až 26)



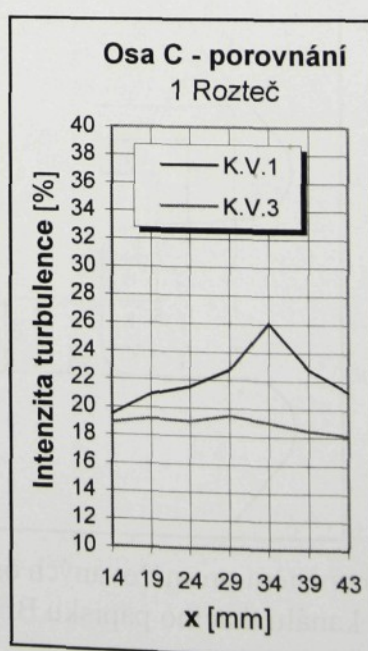
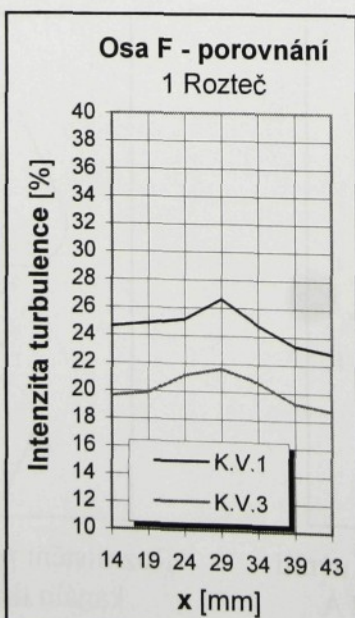
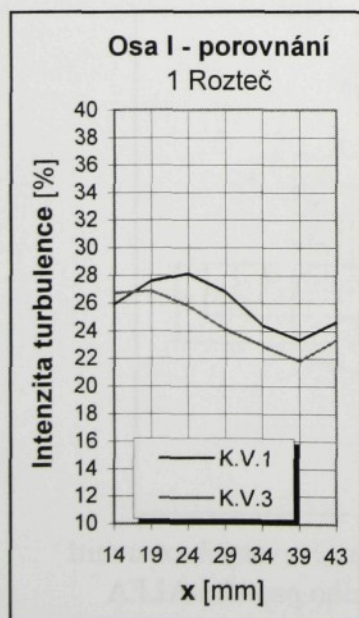
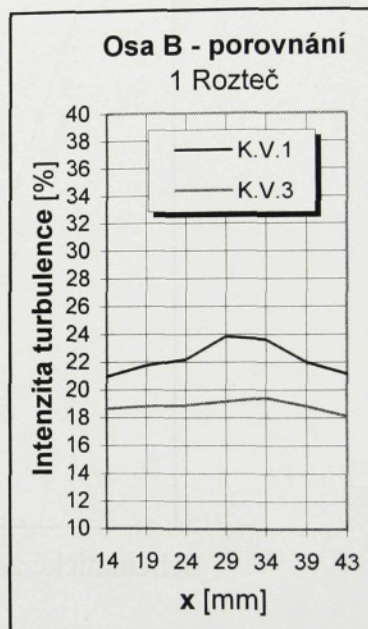
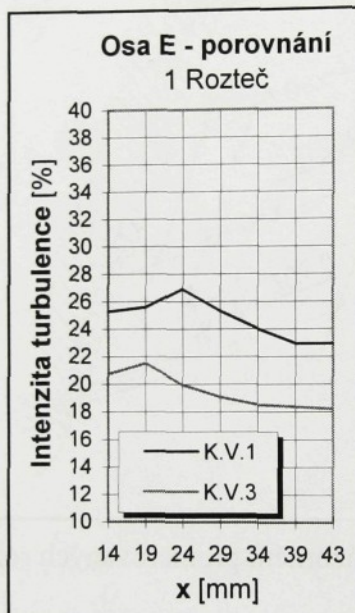
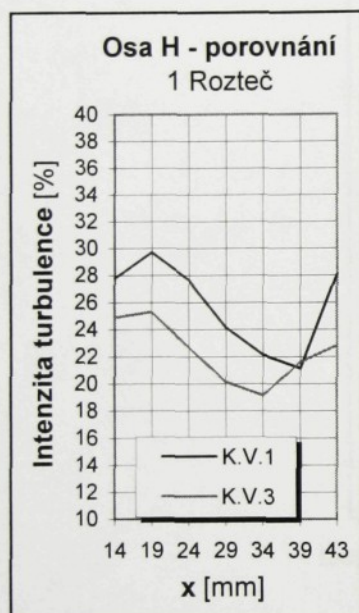
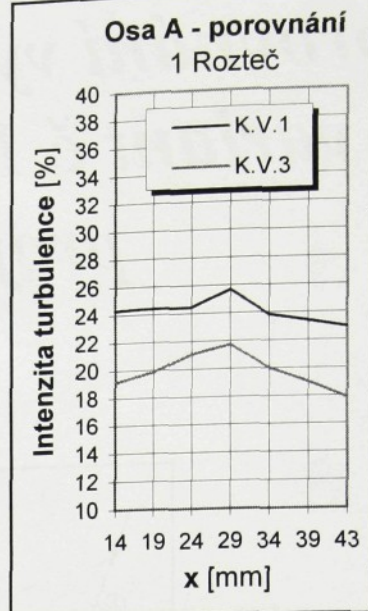
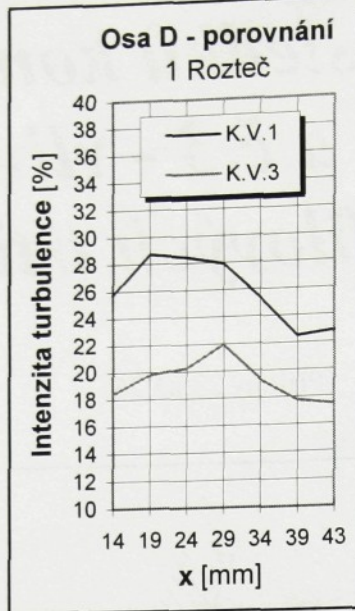
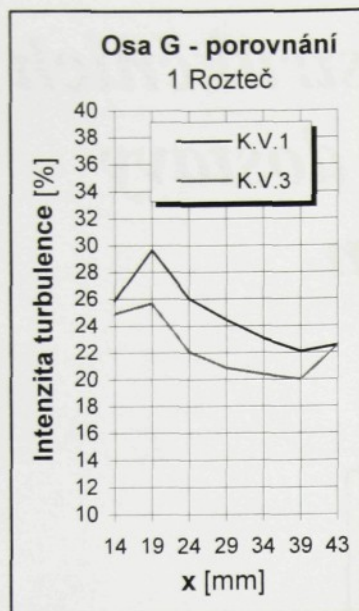
Schématické znázornění proměřovaných roztečí

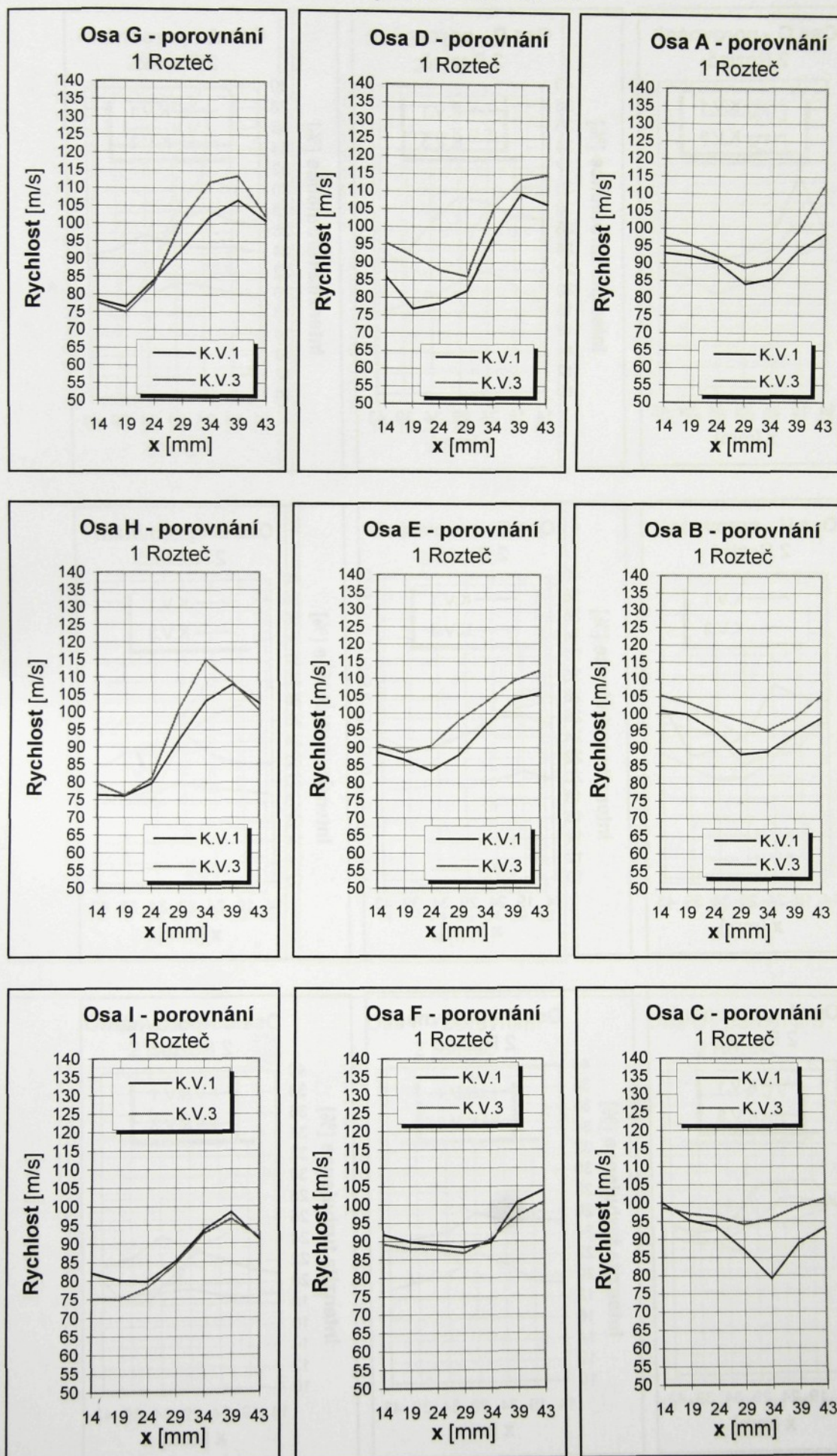


Rozmístění proměřovaných os uvnitř kanálu tkacího paprsku BETA

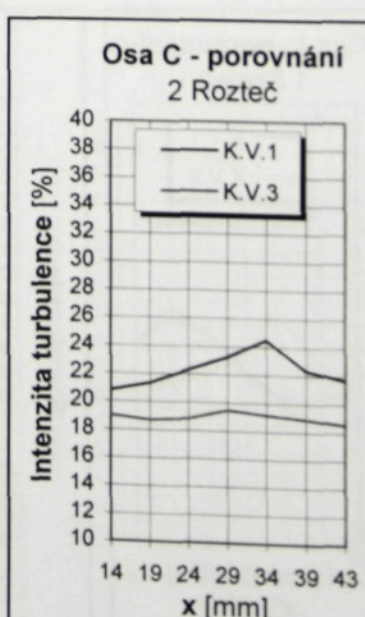
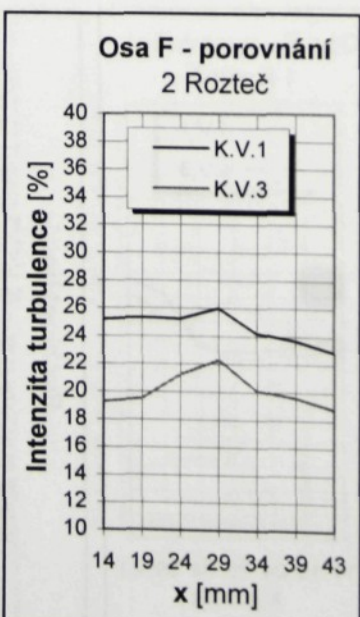
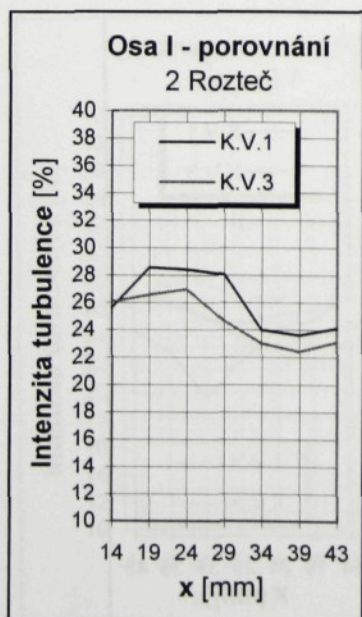
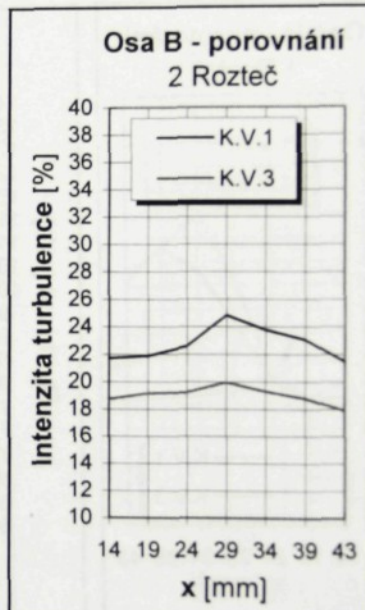
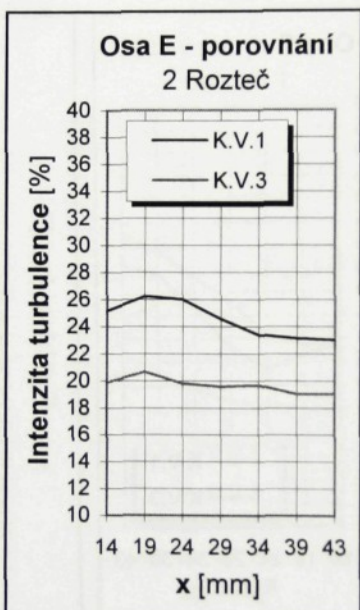
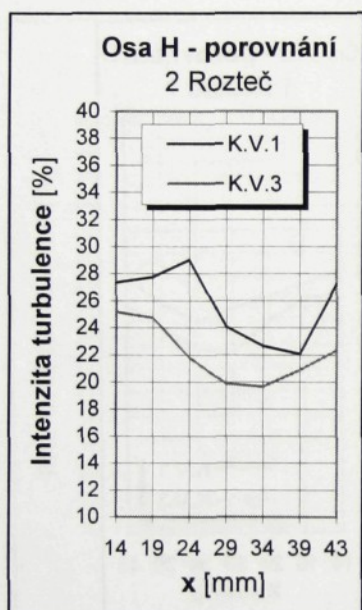
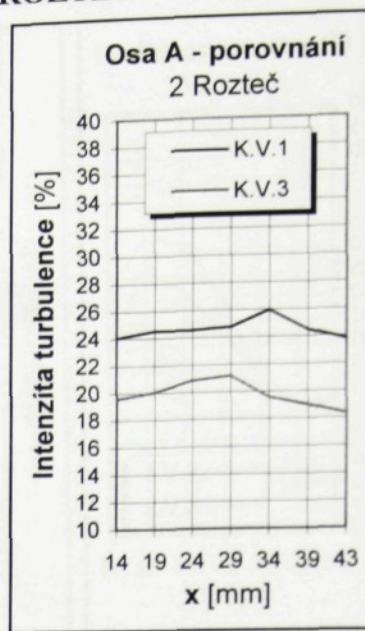
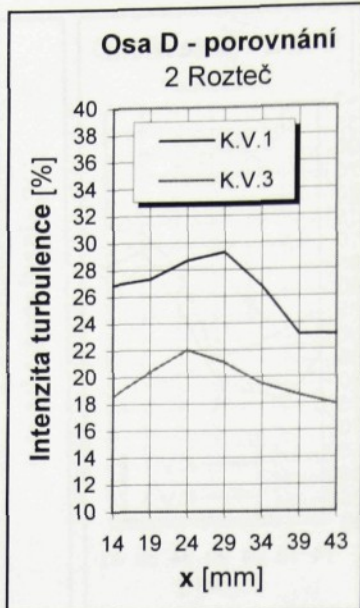
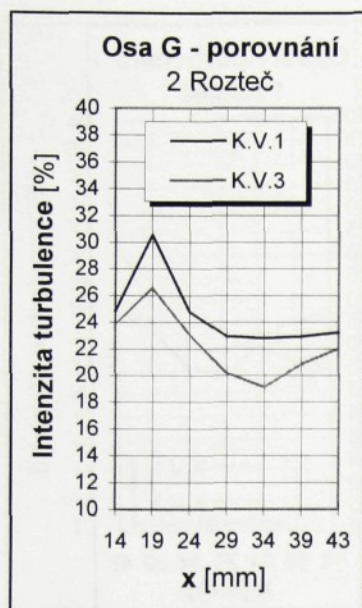


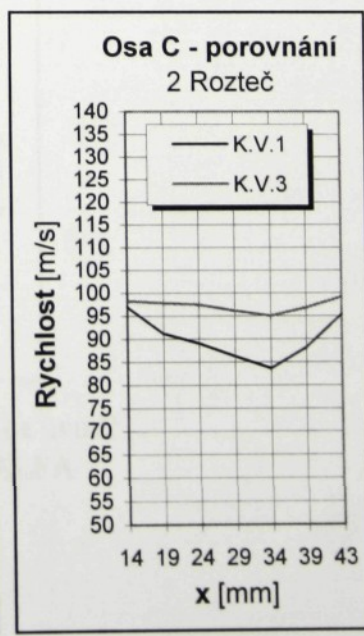
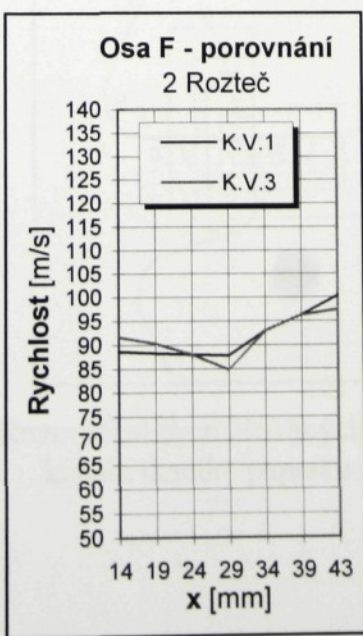
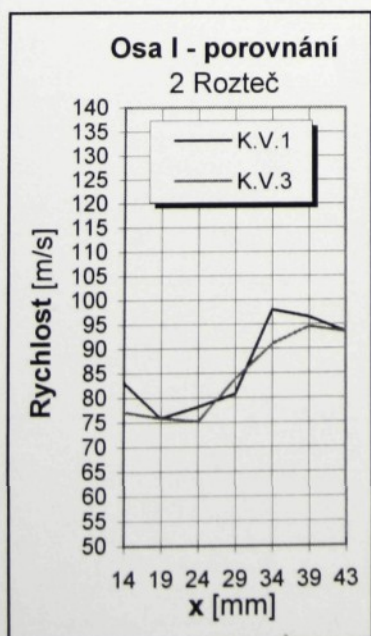
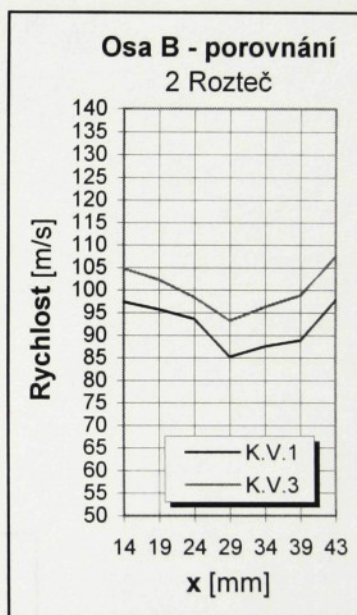
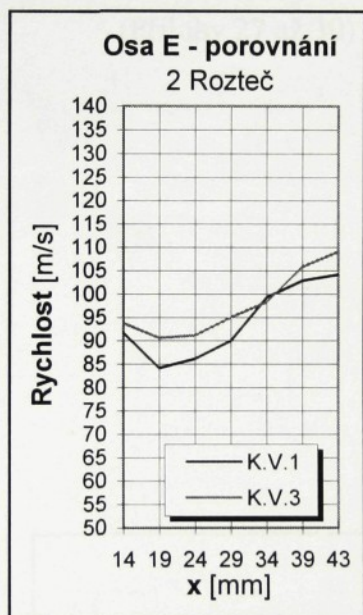
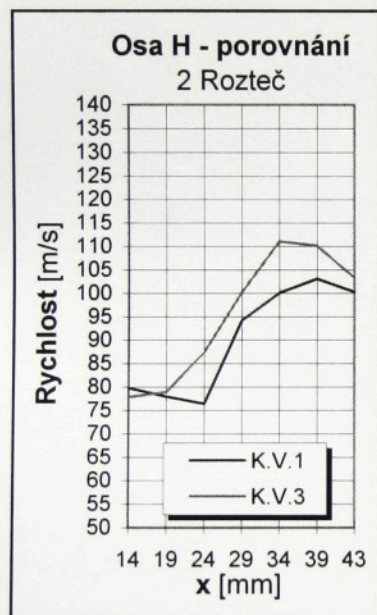
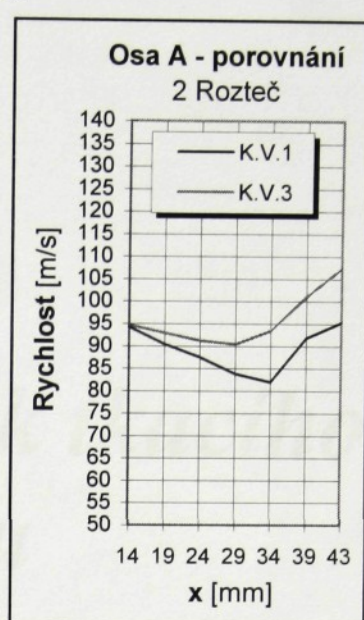
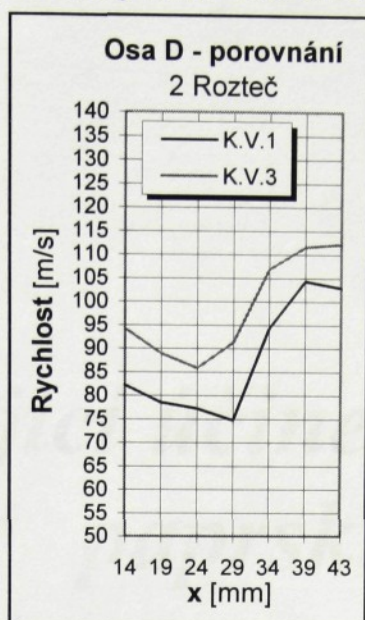
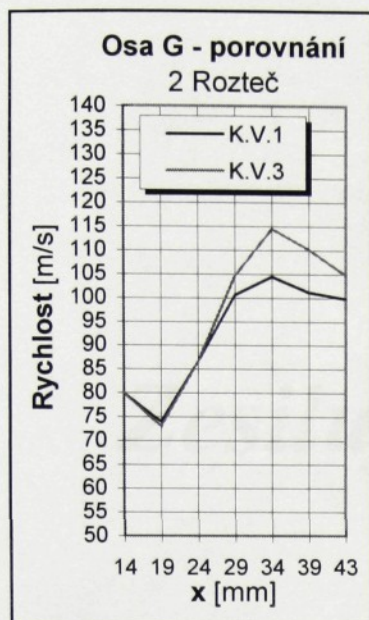
Rozmístění proměřovaných os uvnitř kanálu tkacího paprsku ALFA





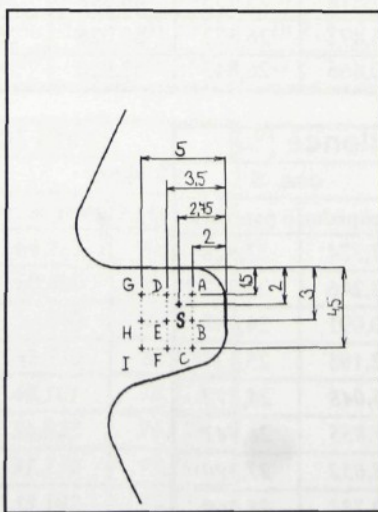
K.V.1 - Konstrukční varianta č.1 K.V.3 - Konstrukční varianta č.3





Zesilující účinek tkacího paprsku

(Přílohy 27 až 30)



Rozmístění proměřovaných os uvnitř
kanálu tkacího paprsku ALFA

x [mm]	Intenzita turbulence [%]							
	osa A		osa B		osa C		osa D	
	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem
0	33,758	20,628	43,768	19,832	39,757	20,562	42,283	21,400
2	36,116	21,320	48,819	20,369	42,270	21,897	45,353	21,862
5	36,311	21,898	49,435	20,499	42,824	22,276	47,690	22,837
10	38,227	22,361	52,320	21,216	43,374	23,069	50,116	23,204
14	41,733	22,714	54,134	21,987	46,403	24,133	53,781	27,549
19	50,889	22,924	56,264	22,201	50,364	24,162	57,803	29,272
24	54,620	23,037	56,988	23,272	57,603	25,287	60,928	30,285
29	46,903	23,936	45,627	23,837	43,445	25,910	57,247	27,298
34	39,440	24,450	36,160	23,200	34,142	24,372	39,420	22,923
39	34,335	23,086	29,743	21,411	28,924	22,593	29,147	20,513
43	26,751	21,656	26,140	20,137	29,512	22,320	30,398	19,545
47	27,025	19,232	28,777	19,082	35,541	20,835	34,549	20,496
52	32,305	18,503	36,203	19,670	42,029	21,450	38,942	21,370
57	35,715	19,977	40,562	20,072	46,175	22,869	39,038	23,211

x [mm]	Intenzita turbulence [%]							
	osa E		osa F		osa G		osa H	
	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem
0	46,470	26,555	45,691	23,031	49,728	26,079	46,030	33,137
2	46,618	27,163	45,325	23,113	52,582	26,921	47,314	34,601
5	46,816	28,825	46,448	25,231	54,558	27,155	51,798	35,578
10	48,063	29,039	50,170	27,952	58,235	27,739	58,336	36,688
14	51,186	30,535	55,281	30,525	61,499	27,998	61,755	36,262
19	53,505	32,210	58,641	34,291	62,624	28,271	63,190	35,297
24	56,342	33,249	60,764	35,219	60,514	27,383	60,445	34,371
29	48,829	30,242	35,572	30,225	46,465	26,130	39,384	30,234
34	30,653	22,983	27,128	22,972	36,340	22,251	26,887	18,236
39	23,516	20,557	29,512	20,514	34,333	20,274	29,363	20,567
43	25,273	20,921	35,433	23,935	42,017	21,953	43,543	23,947
47	34,911	22,405	37,878	25,755	46,290	24,985	47,554	30,527
52	40,849	27,638	45,472	26,372	50,026	26,615	49,186	34,010
57	43,803	29,524	50,466	26,843	52,920	28,939	50,199	36,283

x [mm]	Intenzita turbulence [%]			
	osa I		osa S	
	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem
0	56,743	35,761	37,324	22,928
2	58,507	35,968	38,246	23,320
5	61,018	37,437	40,091	24,198
10	64,029	38,051	42,195	25,121
14	65,509	36,987	46,048	25,472
19	62,691	36,281	47,855	26,741
24	38,395	34,365	58,052	27,390
29	24,307	30,222	60,732	28,969
34	23,141	18,229	48,526	24,352
39	34,857	20,551	32,159	22,181
43	43,008	23,950	25,393	20,933
47	52,702	29,963	31,545	23,232
52	57,679	33,532	34,752	23,503
57	61,227	37,496	41,348	24,977

Zesilující účinek tkacího paprsku

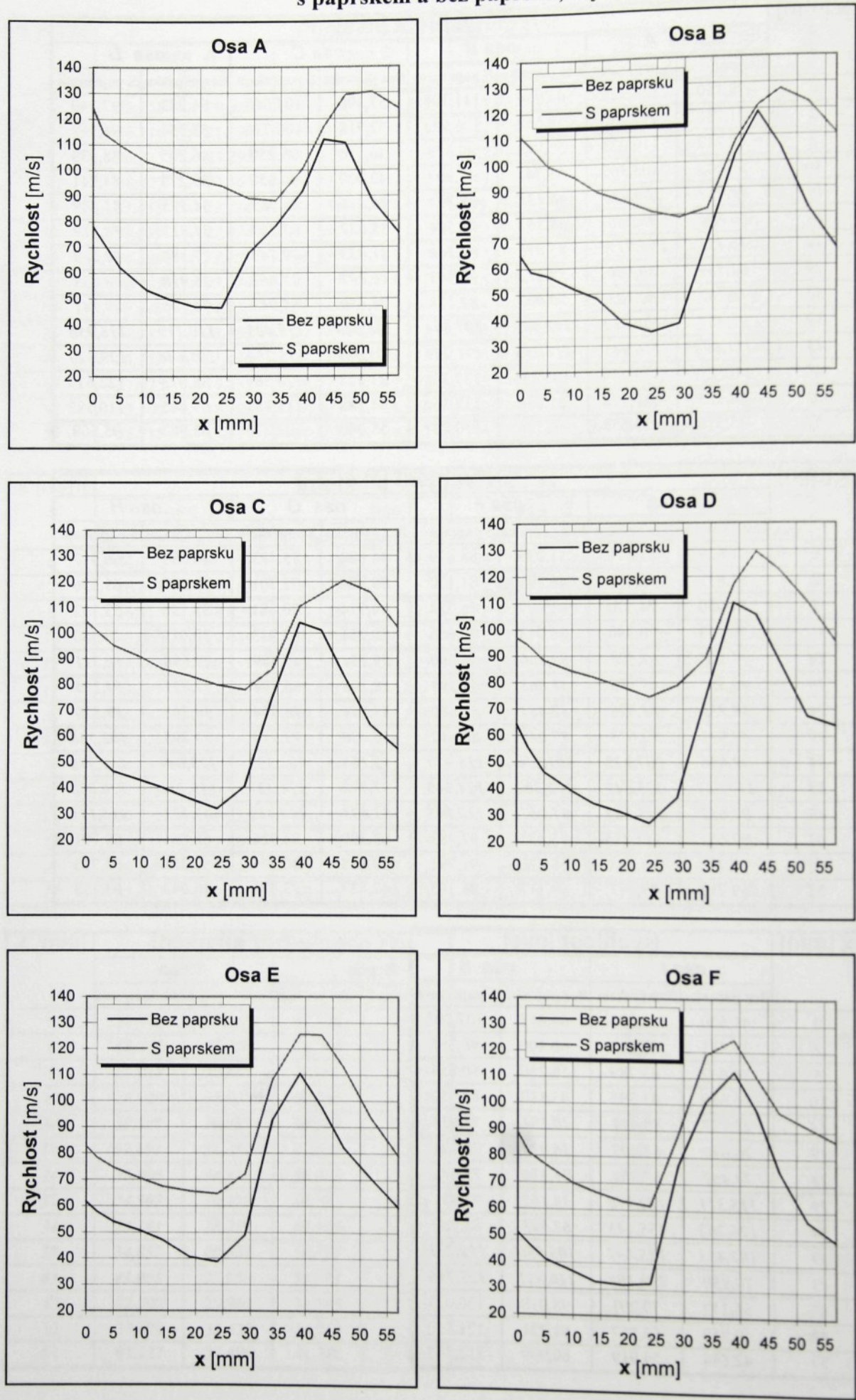
x [mm]	Rychlost [m/s]							
	osa A		osa B		osa C		osa D	
	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem
0	78,180	124,325	64,964	111,105	57,498	104,640	64,283	97,149
2	71,748	114,452	58,658	106,921	52,218	100,735	55,754	94,362
5	62,217	110,023	56,882	99,579	46,256	95,250	46,205	88,339
10	53,313	103,365	51,741	94,907	42,920	90,650	39,275	84,241
14	49,954	100,932	48,131	89,293	40,038	85,965	34,595	81,889
19	46,830	96,360	38,367	85,504	35,832	83,283	31,312	78,319
24	46,435	93,917	35,040	81,268	31,953	79,743	27,388	74,588
29	67,739	89,066	38,172	78,903	40,407	77,861	36,918	78,833
34	78,282	88,183	70,007	82,178	74,650	85,943	74,106	89,141
39	91,867	100,612	102,833	107,844	104,085	110,405	110,119	116,956
43	111,894	116,941	118,775	121,229	101,089	115,250	105,648	129,320
47	110,507	129,254	105,636	127,341	83,925	120,369	88,673	122,619
52	88,285	130,278	81,856	122,362	64,288	115,853	67,445	110,582
57	75,518	123,653	66,528	110,287	55,040	102,276	63,982	95,569

x [mm]	Rychlost [m/s]							
	osa E		osa F		osa G		osa H	
	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem
0	61,629	82,611	51,039	88,679	44,688	75,483	46,639	66,917
2	57,837	78,400	46,791	81,170	39,384	72,701	43,339	61,536
5	54,050	74,570	41,087	76,724	34,774	70,481	33,788	53,132
10	50,563	70,390	36,713	70,056	30,251	67,933	30,913	48,980
14	47,128	67,398	32,836	66,660	29,154	67,589	29,696	50,711
19	40,552	65,583	31,863	63,293	28,108	66,794	27,821	54,125
24	38,753	64,628	32,484	61,680	33,804	70,094	36,308	59,820
29	48,911	72,073	77,040	88,642	54,430	73,970	90,293	102,758
34	92,656	107,922	101,176	118,929	92,165	108,352	123,649	131,578
39	110,532	125,647	112,502	124,649	97,718	124,327	119,016	126,088
43	97,652	125,362	97,867	110,593	83,833	110,413	85,122	115,111
47	82,151	112,884	75,123	97,283	63,399	94,926	68,884	89,791
52	70,730	93,664	56,626	91,791	49,815	80,375	52,283	68,793
57	59,719	79,147	49,117	86,345	42,837	73,476	48,643	63,153

x [mm]	Rychlost [m/s]			
	osa I		osa S	
	Bez paprsku	S paprskem	Bez paprsku	S paprskem
0	41,620	52,351	64,417	107,202
2	39,441	47,280	60,400	98,365
5	34,062	43,789	56,240	90,854
10	26,520	41,395	43,110	82,450
14	22,757	48,511	40,101	78,018
19	26,644	62,697	36,823	76,124
24	74,457	88,304	31,130	73,296
29	115,311	122,978	33,102	71,957
34	126,262	135,643	67,545	85,962
39	102,435	125,697	105,556	112,231
43	70,950	108,198	116,521	125,246
47	55,112	79,291	98,018	130,021
52	49,810	62,862	81,221	121,132
57	42,844	54,919	60,999	112,565

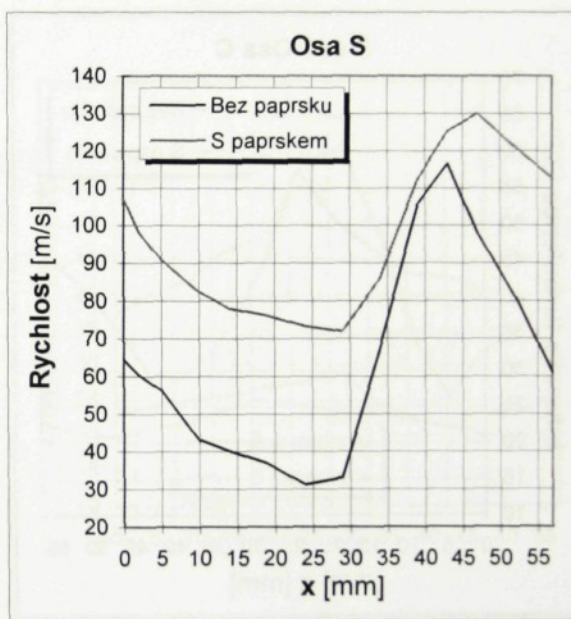
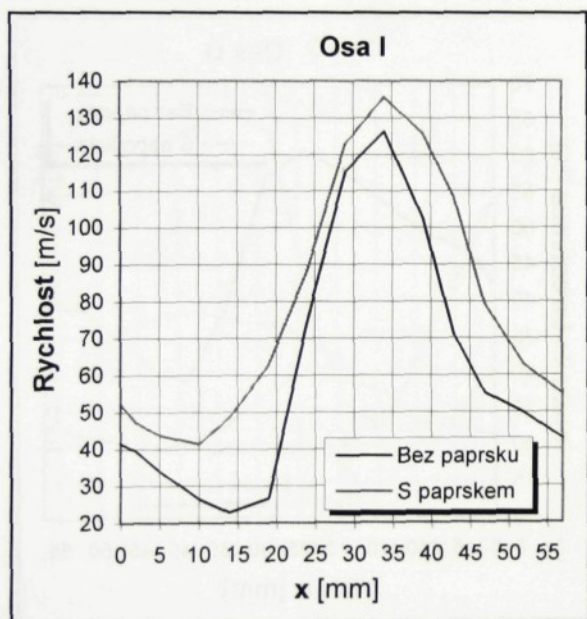
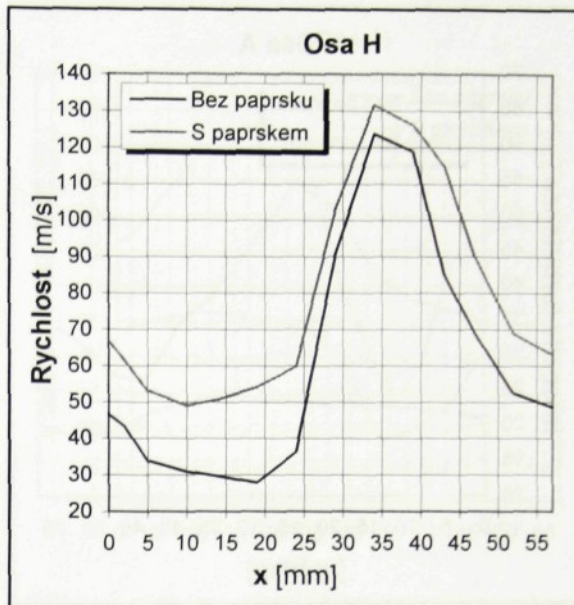
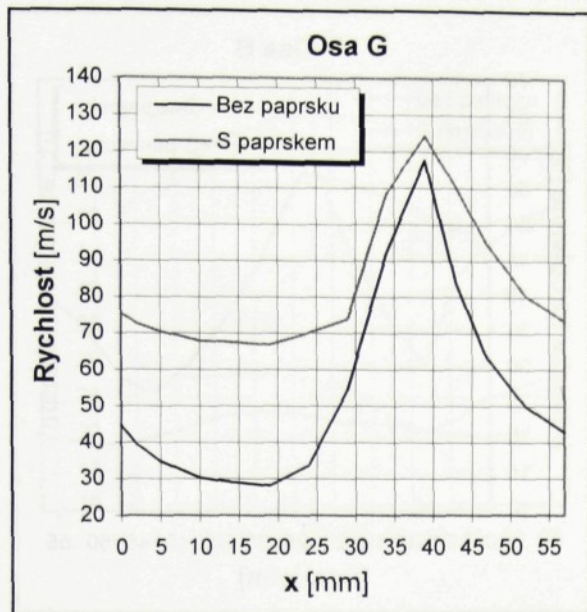
Zesilující účinek tkacího paprsku

Průběhy rychlostí konstrukční varianty č.2
s paprskem a bez paprsku, osy A - F



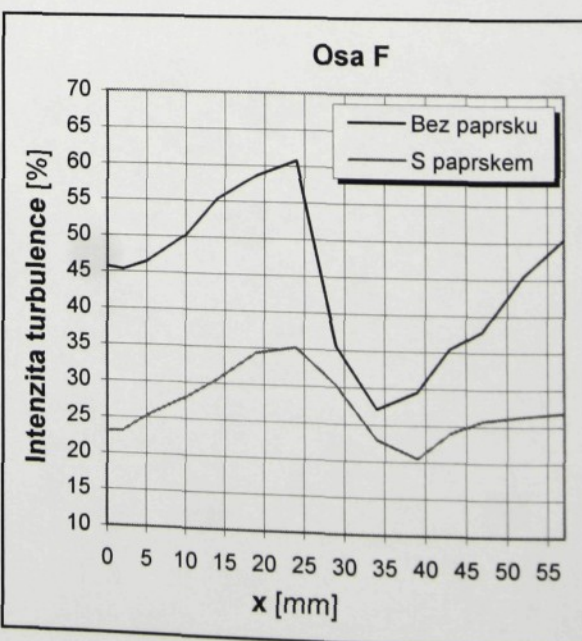
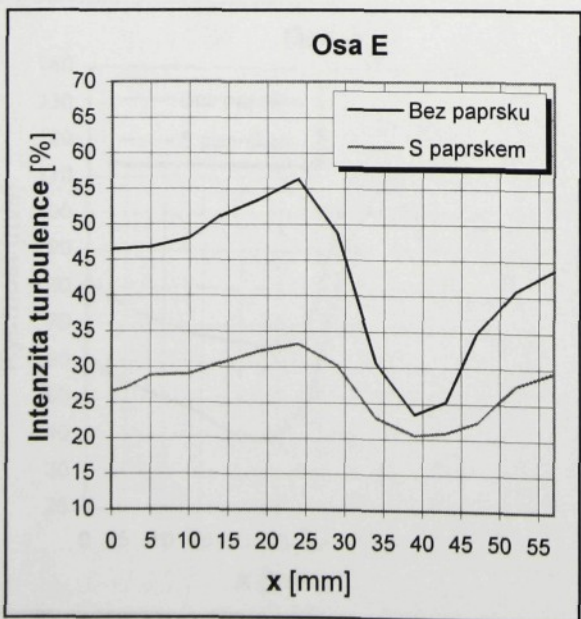
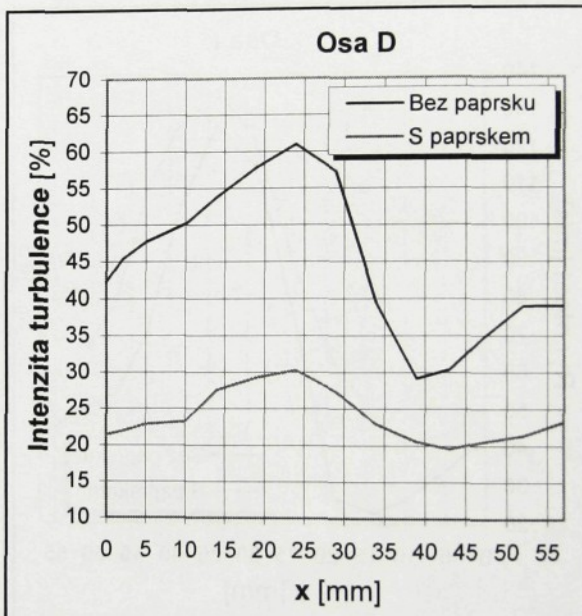
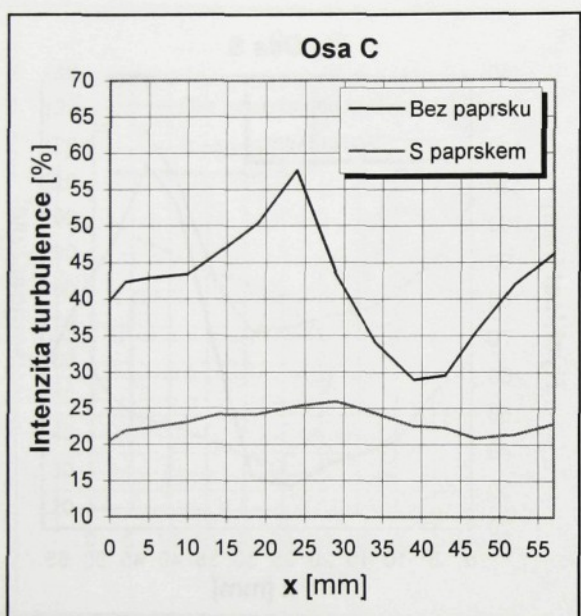
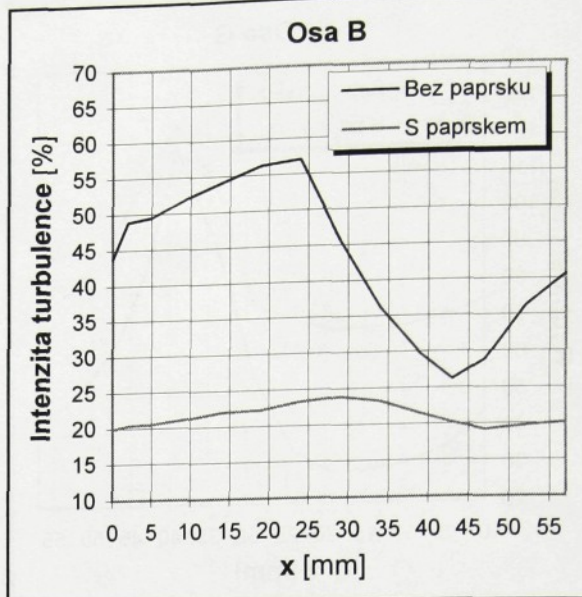
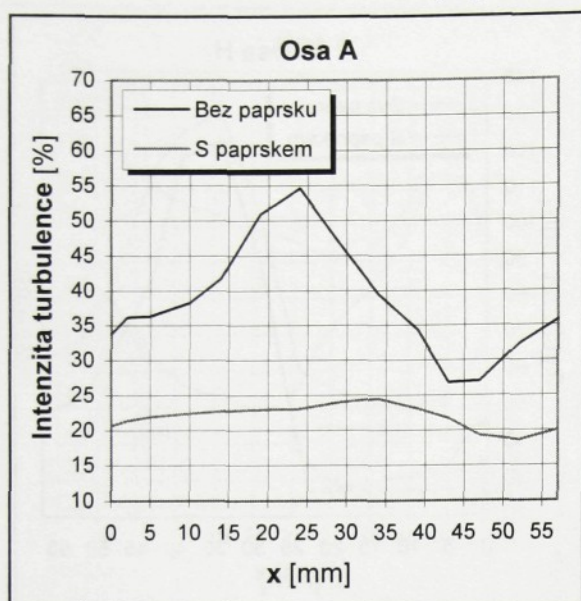
Zesilující účinek tkacího paprsku

Průběhy rychlostí konstrukční varianty č.2
s paprskem a bez paprsku, osy G,H,I,S



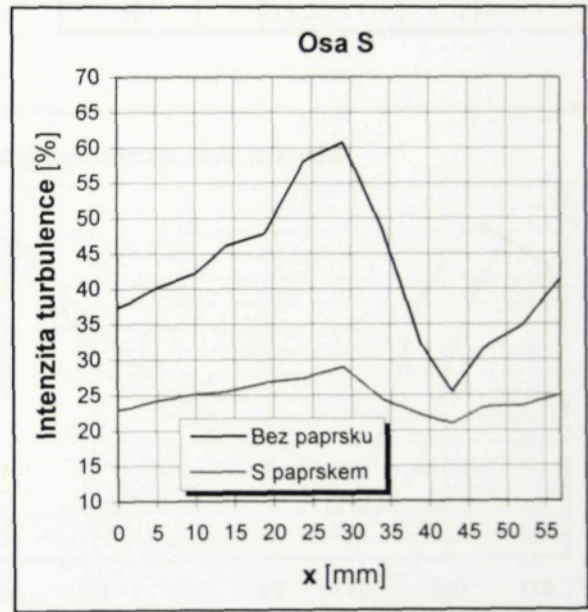
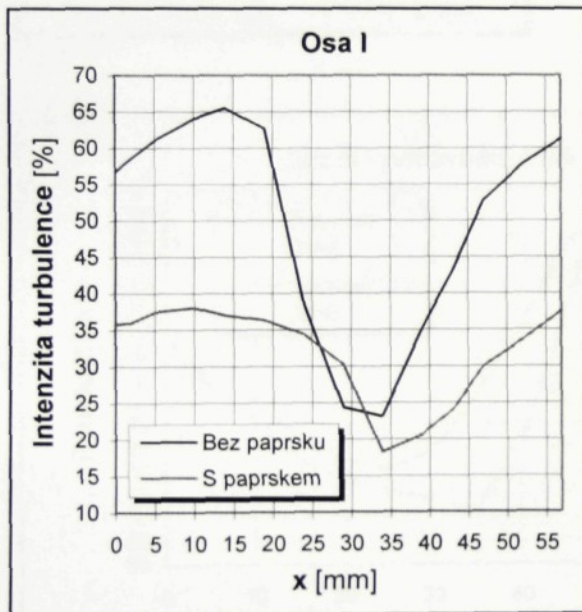
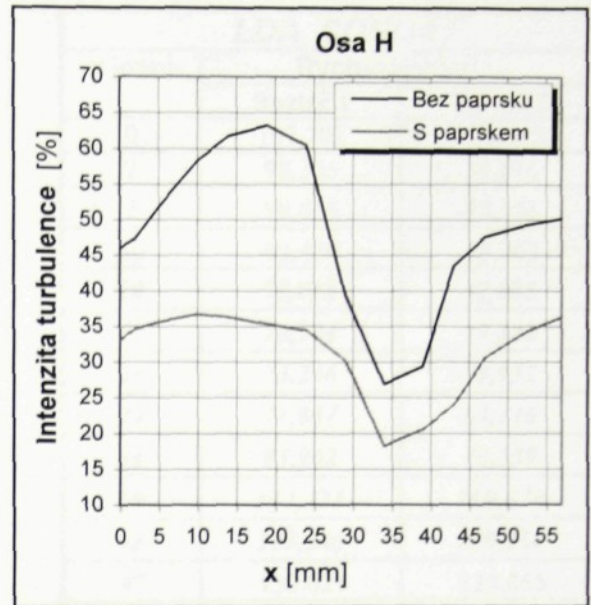
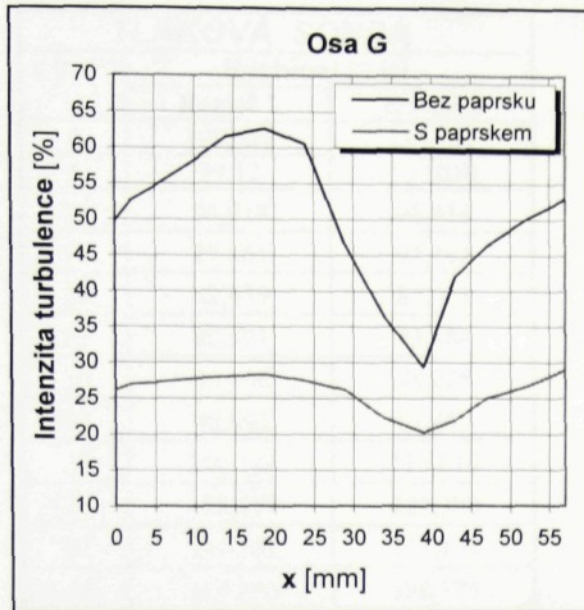
Zesilující účinek tkacího paprsku

Průběhy intenzit turbulence konstrukční varianty č.2 s paprskem a bez paprsku, osy A - F



Zesilující účinek tkacího paprsku

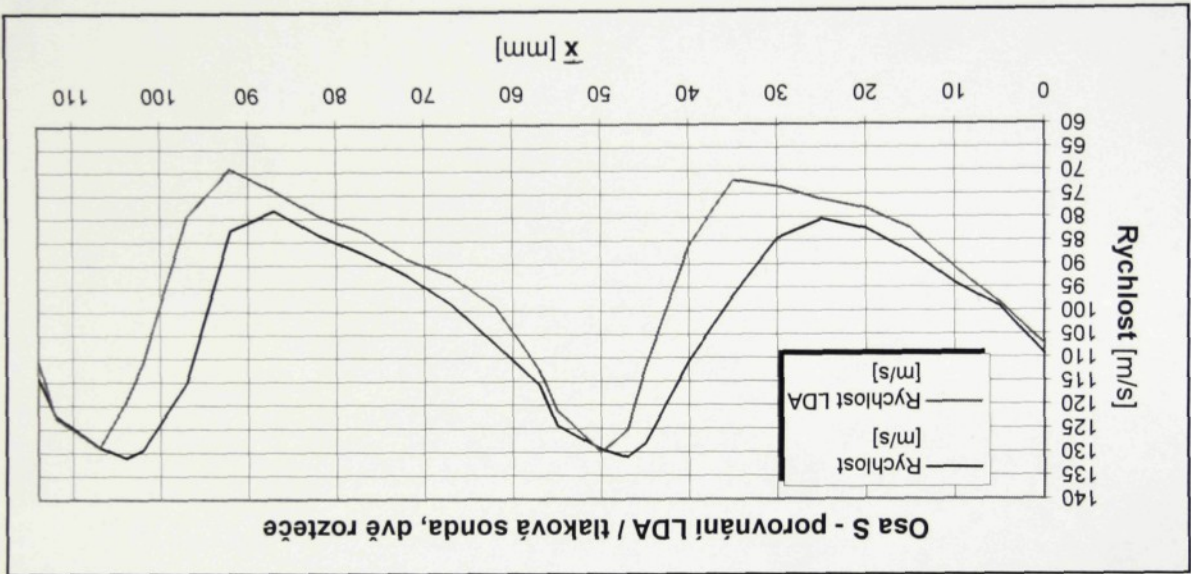
Průběhy intenzit turbulence konstrukční varianty č.2
s paprskem a bez paprsku, osy G,H,I,S



Charakteristická rychlostní vlna konstrukční varianty č.2.
Porovnání výsledků měření tlakovou a LDA sondou v ose S

TLAKOVÁ SONDA		
x [mm]	Rychlost [m/s]	
	Rozteč 1	Rozteč 2
0	109,256	115,708
5	99,12	107,010
10	94,018	98,434
15	87,461	92,192
20	82,459	87,461
25	80,371	83,484
30	84,496	78,228
35	96,692	82,459
40	110,725	115,010
45	128,157	129,390
47	131,103	131,103
50	129,390	128,775
55	124,377	122,125
57	115,708	114,309

LDA SONDA		
x [mm]	Rychlost [m/s]	
	Rozteč 1	Rozteč 2
0	107,202	112,565
2	98,365	98,976
5	90,854	92,391
10	82,450	88,743
14	78,018	82,885
19	76,124	79,348
24	73,296	73,952
29	71,957	69,116
34	85,962	79,539
39	112,231	110,879
43	125,246	119,254
47	130,021	128,865
52	121,132	122,703
57	112,565	110,511



Charakteristická rychlostní vlna, porovnání výsledků měření tlakovou sondou a LDA sondou v celém rozsahu obou roztečí (tlak. sondou měřeno při 23°C 0,1 MPa)