

Ministerstvo školství ČSR

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Ing. Petr K r o u p a

Způsob a zařízení pro tvorbu svazkové příze
tryskovým dopřádáním

Číslo a název vědního oboru

23 - 03 - 9 Stavba výrobních strojů a zařízení
- Stroje a zařízení textilního průmyslu

Autoreferát disertace
k získání vědecké hodnosti kandidáta technických věd

Liberec, září 1985

OBSAH:

Strana:

Obsah	2
Seznam použitých zkratk a symbolů	4
Názvosloví	6
Souhrn	8
1. Úvod	9
2. Přehled o současném stavu řešené problematiky	11
2.1 Současný stav znalostí o tvorbě svazkové příze	11
2.2 Základní literární informace o dílčích dějích	13
2.2.1 Udělování nepravého zákrutu	13
2.2.2 Zakroucená stužka	15
2.2.3 Zákrutový trojúhelník	16
2.2.4 Silové účinky proudu vzduchu na obtékaná vlákna	17
2.2.5 Proudové pole v trubici s rotujícím proudem vzduchu	18
3. Vytčení cíle	22
4. Zvolené metody zpracování	23
5. Dosažené výsledky	25
5.1 Výsledky z analýzy literárních pramenů	25
5.2 Pracovní hypotéza tvorby svazkové příze	26
5.3 Rozbor dílčích dějů pro zpřesnění pracovní hypotézy	28
5.3.1 Vytváření volných konců	28
5.3.2 Udělování nepravých zákrutů rotujícím proudem vzduchu	30
5.3.3 Napojení volných konců na zakroucenou stužku	32
5.3.4 Ovíjení volných konců kolem rozkrucující se stužky vláken	32
5.3.5 Návrh způsobu tvorby svazkové příze	34

5.4	Experimentální a teoretická analýza rozhodujících dějů	35
5.4.1	Proudění vzduchu vyvolané rotací páru váleček	35
5.4.2	Proudění vzduchu v trubici s tečně zaústěnými tryskami	40
5.4.3	Sdílení hybnosti mezi proudícím vzduchem a textilními vlákny	59
5.4.4	Odpor stužky vláken proti kroucení	64
5.5	Teorie tvorby svazkové příze	80
5.5.1	Rozhodující funkce zařízení pro realizaci nového způsobu	85
5.6	Principiální možnost zajištění optimální funkce zařízení	86
5.6.1	Zjemňování pramene	86
5.6.2	Tvorba volných konců odkloněním před svěrem prvního páru průtažných váleček	88
5.6.3	Napojení volných konců na zakroucenou stužku	92
5.6.4	Tvorba zakroucené stužky	95
5.6.5	Utahování volných konců na rozkrucující se zakroucenou stužku	99
5.7	Souhrn konstrukčních prvků zásadně ovlivňujících tvorbu svazkové příze	101
5.8	Výsledky dosahované při předení	102
6.	Závěr	108
6.1	Stupeň dosažení základního cíle	108
6.2	Nové poznatky zjištěné při rozboru dílčích operací tvorby svazkové příze	109
6.3	Vytýčení klíčových úkolů pro další zkvalitnění způsobu předení a prohloubení získaných znalostí	111
	Přehled použité literatury	114
	Seznam příloh	122

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:

$\vec{A}$	- orientovaná plocha /m ² /
C_x	- součinitel odporu při obtékání /1/
D	- průměr /m/
D/Dt	- substancionální derivace /s ⁻¹ /
E	- Youngův modul /N m ⁻² /
$\vec{F}$	- síla /N/
G	- modul zákrutu /N m ⁻² /
$\vec{J}_O$	- moment setrvačnosti /m ⁴ /
K	- hustota
$\vec{M}_K$	- krutný moment /Nm/
$\vec{M}_O$	- ohybový moment /Nm/
Q	- protékající množství /m ³ .s ⁻¹ /nebo /kg.s ⁻¹ /
R	- plynová konstanta /J kg ⁻¹ K ⁻¹ /
S	- bod svěru kůžiček
T	- teplota /grad/
Z	- hustota zákrutů /l m ⁻¹ /
b	- výška stoupání šroubovice /m/
c_p	- měrné teplo pro konstantní tlak /J kg ⁻¹ dkg ⁻¹ /
$\vec{C}$	- tenzor úměrnosti v obecném Hookově zákonu
d	- průměr /m/
h	- vzdálenost kůžiček od povrchu prvních průtahových válečků /m/
l_k	- první křivost šroubovice /m ⁻¹ /
$^2 K$	- druhá křivost šroubovice /m ⁻¹ /
l	- délka /m/

m	- hmotnost /kg/
n	- počet otáček /min ⁻¹ /
p	- tlak /Nm ⁻² /
q	- tok tepla /J m ⁻² s ⁻¹ /
r	- radiální souřadnice /m/
t	- čas /s/
$\vec{v}$	- rychlost /m s ⁻¹ /
$\hat{v}$	- měrný objem /m ³ kg ⁻¹ /
$\vec{w}$	- osová složka rychlost /m s ⁻¹ /
z	- osová souřadnice /m/
α	- úhel při napojování volných konců / grad /
δ	- průhyb /m/
ε	- deformace /l/
η	- faktor tvaru průřezu /l/
ν	- kinematická viskozita /m ² s ⁻¹ /
κ	- adiabatický součinitel
ρ	- měrná hmotnost /kg m ⁻³ /
σ	- napětí /Pa/
τ	- smykové napětí /N m ⁻² /
φ	- obvodová souřadnice /rad/
Φ	- dissipační funkce /Nsm ⁻² / = /kg m ⁻¹ s ⁻¹ /
ω	- obvodová rychlost /m s ⁻¹ /
φ	- rovina symetrie svěru váleček

NÁZVOSLOVÍ:

Dvojice symetrická -

dvě větve vláken spoující se při zakrucování do svazku takovým způsobem, že nositelka osy svazku půlí úhel sevřený větvemi.

Dvojice asymetrická -

dvě větve vláken spoující se při zakrucování do svazku takovým způsobem, že nositelka osy svazku nepůlí úhel sevřený větvemi.

Příze svazková -

český ekvivalent používaných názvů fasciated yarn, Bündelgarne, pro přízi tvořenou nezakrouceným jádrem staženým oviny.

Jádro příze -

vnitřní oblast příze tvořená paralelně uloženými vlákny.

Obal příze -

vlákna stahující jádro příze tak, že jej ovíjejí ve tvaru šroubovice.

Stužka vláken -

proud jednotlivých vláken, který prochází při předání postupně jednotlivými operacemi.

Plochá stužka vláken -

stužka vláken tvořená paralelně uloženými vlákny ležícími přibližně v jedné vrstvě vedle sebe.

Zakroucený svazek vláken -

vlákna zkroutená nepravým zákrutem do přibližně kruhového tvaru v kterém jsou jednotlivá vlákna uložena v prostorových křivkách.

Zákrutový trojúhelník -

místo, v kterém přechází plochá stužka v zakroucený svazek.

Svěd váleček -

linie nebo ploška v které se dotýkají povrchy váleček.

Rovina svěru -

rovina kolmá k rovině určené osami válečků procházející svěrem válečků.

Volný konec -

celé vlákno nebo část vlákna, která se nezúčastní zakrucování do zakroucené stužky a je jej možno využít při realizaci ovinů příze.

Zbytkový zákrut -

zákrut, který je možno nalézt v jádru po anulaci nepravých zákrutů jako důsledek neustálenosti děje.

Hustota zákrutů -

průměrný počet zákrutů na jednotkové délce zakroucené stužky.

SOUHRN:

Na základě rozboru literárních informací, elementárních experimentů a pozorování je vyslovena pracovní hypotéza tvorby svazkové příze.

Pomocí teoreticko-experimentální analýzy otázek specifikovaných v pracovní hypotéze je řešení převedeno z textilně technologické oblasti do oblasti mechaniky kontinua.

Řešení těchto problémů je základem jednak pro formulaci teorie tvorby svazkové příze, jednak pro určení konstrukčních zásad strojního zařízení umožňující realizaci vybraného způsobu tvorby svazkové příze.

Podle těchto zásad zkonstruovaný a vyrobený model umožňuje vypřádat svazkovou přízi s velmi dobrými technicko-ekonomickými parametry.

Kvalita vyráběné příze je hodnocena jak laboratorními metodami, tak i zpracováním vzorků do plošných textilií.

1. Ú v o d

Prudký nárůst počtu obyvatel naší planety staví před vědu, techniku a výrobu stále naléhavěji úkol zajistit v dostatečném množství a kvalitě pokrytí základních potřeb lidí. Odívání patří vedle stravování a péče o zdraví ke zcela základním potřebám, proto je rozvoji textilního průmyslu celosvětově věnována trvalá pozornost.

V technologickém řetězci tvorby textilie patří dopřádání k nejpomalejším, nejsložitějším a tím také k technicky i ekonomicky nejnáročnějším operacím.

Ve světě pracuje dnes asi 175 milionů dopřádacích míst. Z tohoto počtu připadá téměř 170 milionů míst na prstencové dopřádání /1/. Úroveň prstencového dopřádání charakterizují na jedné straně velmi dobré vlastnosti příze, která se stala kvalitativním etalonem i pro příze tvořené jinými způsoby, na druhé straně pak nízká vlastní produkce dopřádání a značné nároky na přípravu předlohy i zpracování příze z potáče v následných operacích /2/.

Koncem šedesátých let umožnilo čs. bezvřetenové dopřádání v oblasti středních a středně jemných přízí bavlnářského charakteru zvýšit výrazně produktivitu práce zkrácením technologického řetězce i zvýšením rychlosti vlastního dopřádání /3/. Přestože si tento způsob velmi rychle získal významné pozice (dnes se celosvětově vyrábí asi 8% přízí tímto způsobem a v některých vyspělých státech již 40 %) /4/, neustává intenzivní snaha výzkumných a vývojových pracovišť nalézt další nové způsoby dopřádání. /5/.

U těchto prací lze nalézt základní motivaci buď ve snaze najít podobně úspěšné řešení jako jsou stroje na principu BD i v oblastech kam dosud tato technika z ekonomických nebo technických důvodů nepronikla, nebo nalézt takové řešení, které

umožní další podstatné zvýšení produktivity tvorby příze i ve srovnání s dopřádáním na principu BD.

S ohledem na uvedené množství prstencových dopřádacích míst, která mají stále ještě svoje uplatnění, a nejen že jsou plně využívána, ale jsou i obnovována, lze předpokládat značný ekonomický výsledek pro toho výrobce strojního zařízení, který dokáže přijít na trh s technickým řešením umožňujícím další efektivní náhradu těchto strojů.

Tvorba svazkové příze tryskovým dopřádáním patří spolu s frikčním předením k nejdynamičtější se vyvíjejícím způsobům neortodoxního dopřádání a pravděpodobnost jejího uplatnění v širším měřítku je značná.

Tryskové dopřádání je svojí vnitřní logikou předurčeno pro tvorbu jemných a velmi jemných přízí. Dostává se tak do konkurence téměř výhradně s prstencovým způsobem dopřádání a nebude proto omezovat postavení strojů BD na světových trzích.

S ohledem na tyto skutečnosti a na fakt, že dopřádací stroje tvoří základ výroby koncernu textilního strojírenství Elitex, bylo volena téma této práce, jako východisko pro výzkum a vývoj tryskových dopřádacích strojů.

2. Přehled o současném stavu řešené problematiky

Získané informace o tvorbě svazkové příze lze rozdělit do dvou základních oblastí:

1. Informace o vlastním způsobu tvorby svazkové příze a o zkušenostech s jeho použitím. V této oblasti je základním informačním zdrojem patentová literatura doplněná o velmi kusé informace z propagačních materiálů firem zabývajících se vývojem tohoto způsobu;
2. Informace o dějích podobných těm, na které lze komplexní děj, tvorbu svazkové příze, rozdělit. Tyto informace lze čerpat především z odborné literatury pojednávající o tvorbě příze a z literatury pojednávající o mechanice kontinua.

2.1 Současný stav znalostí o tvorbě svazkové příze

První pokusy s tvorbou svazkové příze patří výzkumným pracovníkům firmy Du Pont a spadají do padesátých a šedesátých let.

Současně s těmito pracemi se v patentové literatuře objevují myšlenky soukromého vynálezce z NSR Konráda Götzfrieda. V první polovině sedmdesátých let začínají v této oblasti patentovat japonské firmy Toray, Murata a Toyoda.

Podrobně jsou jednotlivé myšlenky více jak třiceti stěžejních patentů rozebírány autorem v /6/.

V jednotlivých patentech je způsob tvorby svazkové příze popisován velmi povrchně. U starších patentů není vůbec zmíněna existence volných konců jako základního prvku tvorby svazkové příze. V novějších je zcela nejasná souvislost mezi volnými konci a nepravým zákrutem jádra. Dále uvedený stručný rozbor základních přístupů jednotlivých autorů, jak se odrážejí v jejich patentech, vychází již z vlastních ucelenějších představ o jednotlivých dějích a jejich souvislostech.

Srovnáme-li jednotlivé způsoby známé z patentové literatury vidíme, že se odlišují především stavem jádrové stužky v okamžiku vytváření volných konců a způsobem manipulace s volnými konci při jejich napojování na zakroucené jádro. V patentech fy Du Pont není tvorba volných konců přímo formulována. Ze souvislostí lze usoudit, že volné konce jsou vytvářeny rozprostřením ploché stužky vláken do takové šířky, aby okrajová vlákna nebyla zachytávána zákrutovým trojúhelníkem. Tato vlákna jsou pak nasávána a proudem vzduchu přiváděna na povrch zakrouceného jádra.

Konrad Götzfried ve svých starších patentech vychází zřejmě z myšlenek fy Du Pont a navrhuje vytváření volných konců "napřimováním předních konců vláken vystupujících z přítlaku přívodních válečků tak, aby injektorovým prouděním vytvořila na zakrouceném jádru pláště z ovinů". Řečeno terminologií zde uvedeného rozboru, je navrhovaná tvorba volných konců založena na představě, že je možno napřímít přední konec vláken po výstupu ze svěru podávacích válečků tak, aby nebyl zachycen vlákny zákrutového trojúhelníka a při tom zachovat spojení zadního konce vlákna s ostatními vlákny v zákrutovém trojúhelníku. Prakticky je pro paralelně přiváděná vlákna do svěru podávacích válečků tato realizace neproveditelná. Ke stejnému názoru pravděpodobně dospěl i sám K. Götzfried a proto ve svých pozdějších patentech se zabývá tvorbou volných konců v oblasti za zákrutovým trojúhelníkem vytahováním a napřimováním částí vláken z povrchu zakroucené stužky. Po provedení tohoto způsobu je nezbytné omezit výrazně v oblasti tvorby volných konců hustotu zákrutů stužky. Tento požadavek vede k návrhům různě provedených zákrutových brzd.

Dnes známé systémy tvorby svazkové příze realizované strojním zařízením od fy Murata a Toyoda jsou založeny na tomto principu tvorby volných konců a liší se pouze provedením zákrutové brzdy. Firma Murata používá pro snížení hustoty zákrutů předřazenou protisměrně krouťící trysku, která současně přispívá k potřebné manipulaci při napojování volných konců na zakroucené jádro. Patentová závislost stroje MJS 801 vyráběného fou Murata na myšlenkách chráněných K. Götzfriedem, je patrná ze skutečnosti, že fa Murata část práv odkoupila. Fa Toyoda používá jako zákrutové brzdy lome- ní příze na hraně uvnitř sacího ústí zákrutové trysky.

Způsob vytváření volných konců na úseku stužky s malou hustotou zákrutů přináší obtíže v nutnosti velmi citlivě volit a přesně dodržovat tuto sníženou hustotu zákrutů. Příliš malá hustota vede ke snížení pevnosti v tomto úseku tvorby příze a ke zvýšení přetrhovosti při předení, příliš velká hustota znesnadňuje tvorbu dostatečného počtu volných konců a je tak příčinou zhoršených fyzikálně mechanických vlastností svazkové příze.

2.2 Základní literární informace o dílčích dějích

Základní informací, kterou lze načerpat z analýzy patentových spisů o tvorbě svazkové příze, je fakt, že svazku vláken je udělován nepravý zákrut, při čemž jsou vytvořeny takové podmínky, aby se některá vlákna tohoto zakrucování nezúčastnila. Manipulace s vlákny je realizována přenosem hybnosti z proudu vzduchu.

Tyto skutečnosti určují hlavní směr ve výběru literárních pramenů.

Klíčovými problémy, které je nutno zkoumat, je:

1. udělování nepravých zákrutů,
2. poměry v zakrouceném svazku vláken,
3. přechod protahované stužky do zakrouceného svazku,
4. přenos hybnosti z proudu vzduchu na obtékaná vlákna,
5. proudové pole v trubici s rotujícím proudem vzduchu.

2.2.1 Udělování nepravého zákrutu

V literatuře je udělování zákrutu řešeno především v souvislosti s tvarováním syntetického hedvábí t.zv. metodou nepravého zákrutu. Ačkoliv je sledován především vliv změknutí hedvábí při ohřevu na hustotu zákrutů, jsou některé informace cenné i pro zakrucování stužky vláken nepravým zákrutem bez ohřevu. Tyto informace jsou důležité z hlediska seznámení se s metodickými přístupy. Na základě pozorování provedených v [7] je možno hustotu zákrutů neohřívaného hedvábí mezi vřetýnkem a svěrem podávacích válečků považovat za konstantní. V ustáleném stavu bylo prokázáno, že na kolíčku vřetýnka je při opásání 2π maximální hustota zákrutů ještě na opásání π a na opásání $3/2 \pi$ je již hustota zákrutů nulová.

Dále bylo prokázáno, že dochází k poměrně pravidelné radiální migraci vláken. Typická migrace je fotograficky dokumentována.

V /8/ je studována zóna za krutným vřetýnkem. Při přechodových dějích vyvolaných náhlou změnou hustoty zákrutů v zóně před vřetýnkem jsou sledovány odezvy v zóně za vřetýnkem, kde vznikne určitá hustota zákrutů, která s časem limituje k nule.

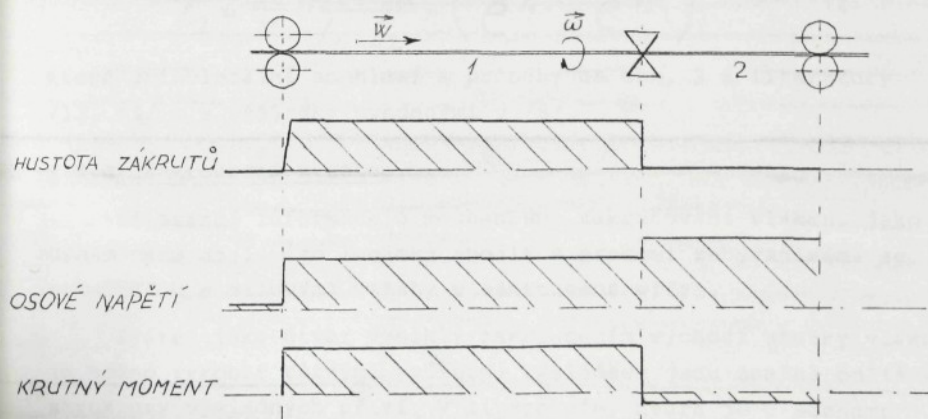
V /9/ je sledován simultánní průběh zakrucování a dloužení z hlediska zákona kontinuity. Je důsledně aplikován požadavek konstantní průtočné hmotnosti vlákna za jednotku času.

V /10/ jsou na základě úvahy o závislostech jednotlivých vlivných veličin při procesu tvarování-dloužení nepravým zákrutem stanoveny materiálové rovnováhy, zákrutové rovnováhy a přenos zákrutů. V /11/ je ověřován experimentálně na speciálně připraveném zařízení umožňujícím zavádět časově proměnné rychlosti osového pohybu a otáčení hedvábí, vztah mezi napětím a krutným momentem hedvábí a průběhem rychlostí modelu.

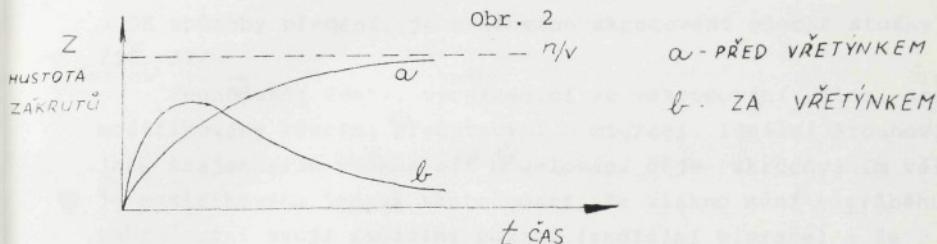
Ve /12/ jsou uvedeny naměřené hustoty zákrutů hedvábí pro zónu před i po vřetýnku, které jsou srovnávány s průběhem krutného momentu a osového napětí v jednotlivých zónách při přechodových dějích.

Typické průběhy hustoty zákrutů, osového napětí a krutného momentu uvádí /13, 14/ ve tvaru:

Obr. 1



v přechodových stavech je možno uvést typickou křivku změny hustoty zákrutů před a za vřetýnkem takto:



Specielně problémy udělování nepravých zákrutů se zabývá literatura /15, 16, 17, 18/.

Z bilance zákrutů pro diferenciální časový úsek je sestavena rovnice pro zónu 1 (viz obr. 1) před vřetýnkem ve tvaru

$$dZ_1 = \frac{n dt - Z_1 v dt}{I_1} \quad (1)$$

a pro zónu 2 za vřetýnkem

$$dZ_2 = \frac{Z_1 v dt - n dt - Z_2 v dt}{I_2} \quad (2)$$

Integrací byly obdrženy vztahy

$$Z_1 = \frac{n}{v} \cdot \left(1 - e^{-\frac{vt}{I_1}}\right) \quad (3)$$

$$Z_2 = \frac{n}{v} \cdot \frac{I_1}{I_1 - I_2} \cdot \left(e^{-\frac{vt}{I_1}} - e^{-\frac{vt}{I_2}}\right) \quad (4)$$

které principiálně souhlasí s průběhy na obr. 2 z literatury /13, 14/ i s výsledky uvedenými v /8/.

2.2.2 Zakroucená stužka

Literární informace o mechanismu zakrucování vláken, jako dynamickém ději, lze logicky spojit s pracemi zabývajícími se strukturou a silovými vztahy v zakroucené přízi.

Příze, jako útvar vzniklý zakroucením výchozí stužky vláken, je možno vyrobit různými způsoby. Výsledkem jsou značně odlišné struktury výsledných přízí. V literatuře, která je v seznamu

uvedena pod čísla /17/ až /35/, je zakrucování řešeno jako kroucení válce. V některých odkazech, spjatých především s OE způsoby předení, je uvažováno zakrucování ploché stužky /36, 37/.

Jednodušší úvahy, vycházející ze zakrucování válce, jsou modifikovány různými představami o migraci. Ideální šroubovice, jako trajektorie vlákna při modelování děje zakrucování válce, je modifikována jednak skutečností, že vlákno mění v průběhu zakrucování svoji radiální pozici (radiální migrace) a že vlákno nemá přesně úhel stoupání šroubovice, který by příslušel radiální pozici úseku vlákna a daným strojním zákrutům (zákrutová migrace).

Tyto teorie, přes dílčí úspěchy, nedokáží zdůvodnit některé experimentálně zjištěné skutečnosti ve struktuře příze. Podrobně je problematika struktury příze s monotonním zákrutem rozebírána v monografii /36/.

Dalším problémem, který je sledován v literatuře a má při tvorbě svazkové příze značnou důležitost, je vztah mezi geometrií zakroucené stužky vláken a potřebným krutným momentem.

Z naměřených hodnot uvedených v literatuře lze konstatovat, že pro mnohovláknenné stužky je krutný moment zhruba přímo úměrný počtu zákrutů, pokud je udržováno konstantní napětí zakrucovaného vzorku /33/ anebo krutný moment roste výrazně rychleji než lineárně s počtem zákrutů, pokud je udržována konstantní délka zakrucovaného vzorku /25, 31, 32/.

2.2.3 Zákrutový trojúhelník

Pro strukturu příze na prstencových dopřádacích strojích má klíčový význam zákrutový trojúhelník tvořící přechod mezi plochým uspořádáním stužky vláken ve svěru podávacích válečků a zakroucenou stužkou s přibližně kruhovým průřezem. Z tohoto pohledu je zajímavé jak malá pozornost je zákrutovému trojúhelníku v literatuře věnována. Z dostupných pramenů byly zjištěny především práce Pavlova /38, 39/. Práce vycházejí z představy, že jednotlivá vlákna vstupující do zákrutového trojúhelníku ve

tvaru ploché stužky, se spojují do zakroucené stužky v jednom průřezu. Fotograficky zjištěné zakřivení okrajů zákrutového trojúhelníku, vysvětluje autor ohybem vláken po povrchu spodního válečku.

Podobně ve /40/ je řešen problém zákrutového trojúhelníku pouze ve vztahu k jeho možnému zakřivení opásáním vláken kolem spodního válečku. Děje v samotném zákrutovém trojúhelníku zkoumány nejsou.

Zmíněné práce jsou motivovány objasněním příčin přetrhů při předení na prstencových strojích. Blízko k problematice zákrutového trojúhelníku má trojúhelník skací.

V literatuře /41/ je objasňována souvislost mezi hustotou skacích zákrutů a charakteristikami šroubovice jako prostorové křivky pro případ skacího trojúhelníku. V literatuře /42/ je tento geometrický model použit pro sestavení momentové rovnice větví a seskané příze ve skacím trojúhelníku. V literatuře /43/ je srovnávána tato momentová rovnice se zkušenostmi z naměřených hodnot.

2.2.4 Silové účinky proudu vzduchu na obtékaná vlákna

Silové působení proudícího vzduchu na vlákna je v literatuře sledováno nejčastěji z těchto praktických důvodů: Transport shluků vláken, transport ojednocených vláken, napínání zakrouceného svazku vláken. S ohledem na řešenou problematiku jsou důležité informace o působení proudu vzduchu na ojednocená vlákna i na zakroucené svazky vláken.

Jak bude ukázáno později, dochází při tvorbě svazkové příze k úletu a znovu zapřádání celých vláken pouze jako k okrajovému jevu, který je způsoben nedokonalostí strojního provedení.

Základní důležitost má působení proudu vzduchu na volné konce vláken, která jsou svým opačným koncem zakotvena ve svazku ostatních vláken. Tento problém zatím v dostupné literatuře sledován nebyl. Citovaná literatura /44/ až /56/ slouží pro orientaci v problematice obtékání vláken a tvoří metodologický návod k vlastnímu sledování.

Silové ovlivnění zakroucených svazků vláken proudem vzduchu je předmětem literatury /48, 55, 56, 57/.

V /48/ uvádí autor, že známý vztah pro sílu vyvozenou proudem vzduchu ve válci

$$F = C \frac{\rho}{2} v^2 dl \quad (5)$$

platí jak pro jednotlivá vlákna, tak pro zakroucený svazek vláken s tím, že

$$C = 1,82 \cdot Re^{-0,71} \text{ pro paralelní obtékání,}$$

$$C = 8,13 \cdot Re^{-0,55} \text{ pro příčné obtékání.}$$

Není uveden rozsah Re pro který vztah platí. V konkrétních případech nelze zanedbat provlnění a kmitání vláken, které znemožňuje realizaci čistě paralelního nebo čistě příčného obtékání. Tato skutečnost je kvalifikovaně rozebírána v monografii /57/ pojednávající o působení proudu tekutin na svazek vláken v podmínkách prohozu tryskových stavů. Charakteristickým rysem je zde podélné obtékání nitě.

V práci /55/ je sledován vliv délky vzorku, struktury hedvábí vyjádřené změnou počtu filamentů při stejné celkové jemnosti nitě, dále rozdíl při obtékání napnutého vzorku příze a vzorku s jedním volným koncem při podélném obtékání. Bylo zjištěno, že zatím co pro monofilament je závislost na obtékané délce vláken lineární, pro zakroucený svazek má závislost charakter exponenciály s exponentem menším než jedna. Při zachování velikosti průměru svazku a při jeho zakroucení do té míry, že se nemůže uplatnit obtékání jednotlivých vláken, nemá rozdíl v jedničné jemnosti výraznější vliv. Uvolnění konce vede vždy ke zvýšení síly vyvozené proudem vzduchu jako důsledku kmitání volného konce a tím jeho obtékání v příčném směru.

2.2.5 Proudové pole v trubici s tečným vstupem tlakového vzduchu

Proudění stlačitelných tekutin s významnou obvodovou složkou rychlosti, která vyvolává značné odstředivé síly, patří k velmi složitým termodynamickým dějům a znalosti o jejich chování jsou mnohem menší než u přímých proudů /58/.

Pro potřeby hlubšího poznání mechanismu zakrucování stužky vláken v rotujícím proudu vzduchu je potřeba znát rozložení obvodové a axiální složky rychlosti a měrné hmotnosti vzduchu jako funkce polohy v trubici. Řešení tohoto problému je komplikované, protože v malých rozměrech trubice není možno použít běžně dostupnou měřicí techniku a teorie rotujících proudů není zpracována do té míry, aby bylo možno stanovit rozložení rychlosti z matematického modelu.

Pro zakrucování stužky vláken mají proudové poměry v trubici, jako zdroj rozhodujících vnějších sil, zcela zásadní význam.

Rotující proudy tekutin v omezeném prostoru mají praktický význam v míchání, sedimentaci, odlučování, směšování, při energetické separaci, ve vírových zesilovačích a toky za axiálními vrtulemi.

Při konzultacích se specializovanými pracovišti

UTZCHT - ČSAV Praha	- míchání tekutin
VÚ vzduchotechnický, Praha	- odlučování
katedra spal.motorů VŠST Liberec	- směšování
katedra letectví FSI ČVUT Praha	- směšování
katedra automat.a řízení FSI ČVUT	- vírové zesilovače
Ústav hydromechaniky ČSAV Praha	- sedimentace
Ústav termomechaniky ČSAV Praha	- energet. separace
SVÚSS Běchovice	- energ. separace
VZÚL Praha	- toky za axiálními vrtulemi
VUT Brno	- rotující proudy

bylo zjištěno, že zkoumanému případu jsou nejvíce podobné děje při energetické nebo hmotové separaci v t.zv. Ranque-Hilschově vírové trubici a při směšování paliva a vzduchu v zakroucených prouděch.

Tímto směrem byl zaměřen výběr literárních pramenů. Přestože v souvislosti s Ranque-Hilschovou trubicí je většinou pozornost věnována teplotním změnám a snaze o vysvětlení původu separace a v souvislosti se směšováním paliva a vzduchu ve spalovacích prostorech, jsou sledovány proudové změny především až po výtoku z trubice, lze v této literatuře nalézt významné informace o rotujícím proudění v trubici.

Z literárních rešerší /59, 60/ zpracovaných k této oblasti, které obsahují více jak 100 odkazů, a z dalších pramenů byly nalezeny následující podstatné informace:

- obvodová složka rychlosti způsobuje radiální tlakový gradient jako důsledek odstředivé síly /63/,
- většina autorů se shoduje, že proudění je osově symetrické, i když existuje informace o zvlnění osy /63/ a o periodických nestabilitách /64/,
- při silně zakroucených prouděch existuje v oblasti blízko osy t.zv. vratný proud,
- teplota vzduchu v ose je výrazně nižší než na obvodu trubice /65/,
- většina autorů zastává názor, že radiální rozložení obvodové rychlosti v dostatečné vzdálenosti od stěny má blízko k rozložení s konstantní úhlovou rychlostí /66-72/, i když se vyskytují názory o rozložení blížícím se potenciálnímu víru /73/.
- někteří autoři zjednodušují proudění předpokladem o nestlačitelnosti proudu /69, 71/, ale někteří považují stlačitelnost za rozhodující faktor pro energetickou separaci /68/ ,
- různí se mínění o důležitosti turbulence na energetickou separaci. V /63/ je turbulence považována za primární zdroj separace, v /66/ za faktor zdvojnásobující separaci, v /58/ jsou uvedeny výsledky měření intenzity turbulence na výstupu z trubice v závislosti na typu ^Zřízení, kterým je vzduch uváděn do rotace.

Starší literatura používá pro zavedení turbulence Businessův model. Novější používá Prandtl-Kolmogorův W- ϵ nebo k- ϵ model /74, 75/.

Významným zdrojem informací je jediná zjištěná monografie věnovaná zakrouceným proudům vzduchu /58/. Publikace vychází z potřeb praxe směšování paliva a vzduchu před spalovacím prostorem, proto je převážně orientována na děje po výstupu ze směšovací trubice. Úvodní část publikace věnovaná proudovému poli uvnitř trubice, založená na bohatém experimentálním materiálu, potvrzuje názory publikované v souvislosti s Rangu-Hilschovou trubicí.

Nejčastěji je silně zakroucený proud vzduchu, realizovaný výtokem vzduchu v blízkosti kritických poměrů z trysek tečně zaústěných do trubice, považován za osově souměrné, trojrozměrné turbulentní proudění stlačitelné tekutiny probíhající za adiabatických podmínek. Na základě těchto předpokladů byly vytvořeny různé modely proudění. Jeden z nejlépe propracovaných modelů je uveden pro nestlačitelné proudění v /74/ a /75/. Matematické modely zde uvedené vycházejí z teoretické monografie o způsobu výpočtu proudění tekutin za předpokladu, že soustava parciálních diferenciálních rovnic popisující děj je eliptická /76/. Uvedený způsob umožňuje i zavedení stlačitelnosti do modelu. Vypočtené průběhy obvodové a osově složky rychlosti jsou porovnávány s naměřenými hodnotami. Uvedená shoda je velmi dobrá a zdálo by se, že i pro náš případ lze s poměrně malou kapacitou počítače (sítě 21x11) a v krátkém čase (na počítači IBM z výroby před rokem 1969 řádově v minutách) modelovat proudění v trubce pro různé geometrické a tlakové poměry na vstupu.

3. Vytčení cíle

S ohledem na obecné potřeby textilního průmyslu zvýšit produktivitu dopřádání, především v oblasti jemných a velmi jemných přízí a na zvláštní potřeby čs. textilního strojírenství, které patří k nejvýraznějším výrobcům bezvřetenových dopřádacích strojů na světě, byl formulován tento základní cíl:

Vytvořit teoretické a experimentální zázemí, které by umožnilo:

- a) formulovat textilně technologické problémy tvorby svazkové příze,
- b) převést tyto problémy na řešení úloh mechaniky kontinua,
- c) na základě alespoň částečného řešení úloh ad b) formulovat konstrukční zásady jako základ pro výzkum a vývoj strojního zařízení.

K tomu je nutno:

1. Objasnit základní zákonitosti struktury a tvorby svazkové příze.
2. Na základě dostatečně konkrétní zpalosti zákonitostí navrhnout optimální způsob tvorby svazkové příze.
3. Navržený způsob realizovat na modelech spřádních jednotek.
4. Ověřit možnosti navrženého způsobu tvorby svazkové příze a kvalitu strojního provedení na základě zkoušek modelu a vyhodnocování kvality příze.

Studium literatury provázené prvními ověřovacími pokusy pro formulaci základní pracovní hypotézy zákonitosti tvorby svazkové příze umožnily již v počátku formulovat podrobněji bod 2. vytčeného základního cíle:

- 2.1 Formulovat a systematicky rozebrat podmínky umožňující tvorbu volných konců.
- 2.2 Osvětlit podmínky zakrucování stužky vláken nepravým zákřutem v rotujícím proudu vzduchu.
- 2.3 Provést rozbor podmínek zajišťujících přetváření volných konců na oviny utahující rozkroucenou stužku vláken.

4. Zvolené metody zpracování

Pro dosažení vytčeného cíle byl zvolen postup založený na obecné marxistické metodologii tvůrčí práce /77, 78, 79/.

Po shromáždění a základní analýze dostupných informací je vyslovena základní pracovní hypotéza, která umožňuje přesnější výběr z existujících informací a účelné zaměření experimentálních prací. Takto vznikne soubor informací o řešeném problému na kvalitativně vyšší úrovni.

Analýza tohoto souboru informací umožňuje jednak pochopit hlouběji dílčí děje, jednak formulovat přesněji a komplexněji souvislosti mezi těmito ději, než to dovolila pracovní hypotéza. Na základě syntézy jednotlivých poznatků lze formulovat obecné závěry na takové úrovni, že je lze použít pro řešení konkrétních problémů. Tento postup je možno vícekrát opakovat s tím, že zpřesněná informační báze a hlubší znalost souvislostí umožňují prohloubit a rozšířit poznatky o řešené problematice. Konkrétně pro vytčený cíl jsou jednotlivé body specifikovány takto:

1. Formulace pracovní hypotézy tvorby svazkové příze na základě analýzy literárních údajů tak, aby bylo možno logicky uspořádat skutečnosti známé z literatury a základních pozorování, přesněji vybírat další informační zdroje a účelně zaměřit experimentální práce na rozhodující děje.
2. Provedení experimentů a pozorování umožňující podrobnější formulaci pracovní hypotézy. Ze všech známých skutečností vytvořit soubor informací o tvorbě svazkové příze na kvalitativně vyšší úrovni, než odpovídá bodu ad 1.
3. Na základě analýzy souboru informací ad 2. proniknout hlouběji do podstaty jednotlivých dílčích dějů a odhalit vzájemné souvislosti mezi dílčími jevy do té míry, aby bylo možno formulovat teoretické základy tvorby svazkové příze.
Formulace těchto teoretických základů tvorby svazkové příze musí být natolik konkrétní, aby umožnila jejich bezprostřední průběh do zásad konstrukce modelového zařízení.

4. Navržení způsobu realizace toeretických závěrů o tvorbě svazkové příze, výběr nejvýhodnější varianty realizace a konstrukční zpracování modelového zařízení.
5. Sledování provozu modelu, provádění a vyhodnocování zkoušek (především v oblasti vzájemných vztahů mezi kvalitou výpředu a realizací dílčích dějů) jako syntetického nástroje ověřování a doplňování teorie.
6. Na základě doplněné teorie ad 5. provést optimalizaci návrhu způsobu tvorby svazkové příze i navazujícího konstrukčního provedení.
7. Zhodnocení dosažených výsledků, formulace stěžejních otázek pro hlubší proniknutí do zákonitostí jednotlivých dějů, návrh na další postup prací.

5. Dosažené výsledky

5.1 Výsledky analýzy literárních pramenů

Pro získání dostatečně široké a vyčerpávající informační základny z patentových a literárních zdrojů byly použity, na základě požadavků autora, zpracované rešerše:

Tvorba svazkové příze - rešerše patentová i literární.

Chování vláken v proudu vzduchu - literární rešerše.

Vírová trubice - literární rešerše.

Tyto rešerše byly zpracovány za pomoci Oborového střediska patentoprávní ochrany KTS Elitex, odd. technickoeconomických informací Elitex KVÚ a Ústředí vědeckých, technických a ekonomických informací - úsek Státní technická knihovna.

Mnohé prameny takto vytypované však nejsou v našich podmínkách v reálném čase dosažitelné.

Další informace byly průběžně získávány z dostupných odborných publikací a konzultacemi na specializovaných pracovištích.

Mnohé z dále uvedených poznatků jsou v literatuře uvedeny jen jako jedna z možných alternativ nebo jsou jinak formulovány v souvislosti s odlišným konečným cílem citované práce. Vyhodnocování informací z literatury a jejich ověřování a doplňování vlastními experimenty probíhalo současně, i když zde pro přehlednost jsou výsledky uvedeny zvlášť.

Základní informace pro formulaci pracovní hypotézy tvorby svazkové příze, které bylo možno načerpat rozbořením literárních zdrojů, jsou tyto:

1. Svazková příze má strukturu složenou ze dvou odlišných vrstev: z jádra, kde jsou paralelně uspořádána nebo jen mírně zkroucená vlákna a z obalu, který je tvořen z jednotlivých vláken nebo jejich svazků a který utahuje ve víceméně pravidelné šroubovici vlákna tvořící jádro.
2. Při tvorbě svazkové příze je svazku vláken udělován nepravý zákrut.

3. Existují volná vlákna nebo volné konce vláken, které po anulaci nepravého zákrutu jádra tvoří obal příze.
4. Volné konce je možno vytvářet z ojednoceného proudu vláken, jejich přivedením k zakroucené stužce příze nebo vytažením části vláken ze zakrouceného svazku.
5. Bilanční metodou lze odvodit rovnici pro průběh nepravého zákrutu. V ustáleném stavu je před místem udělování zákrutu konstantní hustota zákrutů a za ním je hustota zákrutů nulová. V přechodových stavech (náhlá změna zákrutů před místem udělování) je pro určitý reálný čas do odeznění hustota zákrutů za místem udělování nenulová /15/.
6. Pro zakrucování svazku vláken je výhodně používán rotující proud vzduchu.
7. Síla vyvozená proudem vzduchu při obtékání jednotlivých vláken nebo jejich zakroucených svazků je dána známým Newtonovým kvadratickým vztahem, přičemž součinitel odporu tělesa proti proudění nabývá významně rozdílných hodnot v závislosti na čísle Re pro příčné a podélné obtékání /57/.
8. Rotující proud ve válcové trubici má určitou složitou třírozměrnou strukturu s významnými radiálními gradienty kinematických i stavových veličin jako důsledek výrazné odstředivé síly /58/.

5.2 Pracovní hypotéza tvorby svazkové příze

Uvedené skutečnosti tvoří rozhodující odlišnosti způsobu tvorby svazkové příze, od tvorby příze pomocí monotonního zákrutu.

Charakteristickým rysem při udělování nepravého zákrutu je otáčení stužky vláken kolem její podélné osy, mezi dvěma svěrnými liniemi, v nichž se stužka otáčet nemůže. Praktický význam má taková realizace, která umožní jak ve svěrných liniích, tak i v zákrutovém orgánu osový pohyb stužky.

V rozboru údajů z literatury bylo ukázáno, že v ustáleném stavu je pro případ udělování nepravého zákrutu svazku hedvábí pomocí otáčejícího se mechanického vřeténka při současném osovém pohybu svazku průběh hustoty zákrutů v zóně od svěru vstupních válečků po příčný kolík vřeténka přibližně konstatní a rovný

$\frac{n}{w}$ a v zóně od příčného kolíku do svěru odtahových válečků je hustota zákrutů nulová. Tuto skutečnost lze formulovat do praxí ověřené pravdy, že nelze ustáleným nepravým zákrutem dosáhnout trvalého zákrutu. V praxi vznikající trvalé zákruty, např. při zakrucování staplového materiálu, jsou důsledkem výchylek z rovnovážného stavu procesu způsobeným především kolísáním frekvence otáček zákrutotvorného orgánu a vlivem konců staplových vláken, které se náhodně nezúčastní zakrucování. Tyto náhodné děje nedokáží sami o sobě zajistit dostatečné zpevnění svazků vláken jaké je vyžadováno od nitě.

Z nepochybné skutečnosti, že výsledná svazková příze je složena ze dvou struktur vláken s výrazně odlišnou geometrií uložení lze odvodit, že v době, kdy má budoucí svazková příze tvar vlákenného svazku zakrouceného nepravým zákrutem, musí některá vlákna nebo jejich části mít odlišné geometrické uspořádání. Tato vlákna pak při anulaci nepravého zákrutu svazku vytvoří oviny.

Mechanismus, kterým se oviny vytváří, byl nejdříve pozorován na velmi jednoduchém modelu tvořeném svazkem staplových vláken, který je uložen na jednom konci ve svěru a na druhé straně přiměřeně zatížen. Takto připravený vzorek je možno snadno zakroutit. Vložíme-li na jeho zakroucený povrch vlákna kontrastní barvy pod jiným úhlem než mají povrchová vlákna zakrouceného vzorku, dostaneme po anulaci zákrutů vzorku model svazkové příze. Tato jednoduchá názorná pomůcka umožňuje sledovat i vztah mezi polohou vláken vkládaných na povrch zakrouceného svazku, způsobem jejich převíjení při anulaci a získanou strukturou svazkové příze.

Na základě uvedených informací a pozorování byla formulována následující základní pracovní hypotéza tvorby svazkové příze:

Je-li svazek staplových vláken zakroucen v pracovní zóně nepravým zákrutem a jsou-li na zakroucený povrch přivedena vlákna pod jiným úhlem stoupání než je úhel stoupání šroubovice jádra tak, že se nadále pohybují jako součást povrchu zakroucené stužky, dojde při anulaci nepravého zákrutu stužky k navíjení

těchto vláken. Výsledný úhel ovinů je dán rozdílem mezi úbytkem úhlu zákrutů stužky s úhlem, pod kterým jsou vlákna na povrchu zachycena. Na základě této hypotézy je možno tvorbu svazkové příze rozdělit na následující základní dílčí děje:

1. vytváření volných konců,
2. zakroucení stužky vláken nepravým zákrutem,
3. napojení volných konců na zakroucený svazek,
4. ovíjení volných konců kolem rozkrucujícího se svazku vláken.

5.3 Rozbor dílčích dějů pro zpřesnění pracovní hypotézy

Zformulování pracovní hypotézy umožnilo rozdělit složitý problém tvorby svazkové příze na jednodušší technologické operace.

Pro poznání zákonitostí v jejich chování byl proveden následující rozbor, jehož cílem je jednak formulovat návrh způsobu tvorby svazkové příze výběrem optimálních variant z možností realizace dílčích dějů a jednak umožnit převedení výše zformulovaných čtyř základních textilně technologických dějů na problémy mechanického chování vláken pod vlivem vnějších sil.

5.3.1 Vytváření volných konců

Charakteristickým rysem volných konců je skutečnost, že nejsou zpočátku zachyceny rotujícím svazkem, zakrucujícím se nepravým zákrutem a že jsou na svazek přivedeny až po jeho zakroucení. Jejich spojení s povrchem zakrouceného svazku je takové, že vznikne výrazný rozdíl mezi úhlem stoupání šroubovice povrchových vláken zakrouceného svazku a úhlem stoupání šroubovice, kterou vytvářejí napojené volné konce.

Vytváření volných konců lze realizovat v zásadě třemi způsoby:

- a) vytvořením proudu ojednocených vláken, jejich přivedením a zachycením na povrch zakrouceného svazku,
- b) vyčleněním části vláken tak, aby se nezúčastnila zakrucování do svazku.

c) "vyčesáváním" části povrchových vláken ze zakrouceného svazku.

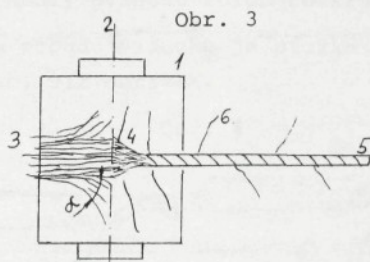
Zdánlivě je možnost ad a) nejpraktičtější, protože umožňuje přesně regulovat množství volných konců a místo jejich napojování. Zásadní problémy tohoto způsobu tkví v napojování takto realizovaných konců na zakroucený svazek.

S ohledem na praktické možnosti použití se dále zaměříme na varianty ad b. c), které lze dále členit takto:

1. Části vláken jsou pomocí působení nějaké vnější síly (mechanické, pneumatické, elektrostatické) vyčleňovány ze zakrouceného svazku.
2. Části vláken jsou pomocí působení nějaké vnější síly odkloněny ze zákrutového trojúhelníku tak, aby se nezúčastnily zakrucování.
3. Části vláken jsou pomocí působení nějaké vnější síly odkloněny před svěrem podávacích válečků tak, aby se neúčastnily zakrucování.

První dvě možnosti jsou známy z literatury. Třetí možnost je poprvé publikována v této práci. S ohledem na praktické výsledky, které dává, je předmětem vynálezů /80, 81/.

Vytváření volných konců, odkloněním části vláken před svěrem podávacích válečků, je schematicky znázorněno na následujícím obr.



Podávací váleček 1 tvoří s neznázorněným párovým válečkem svěrnou linii 2. kterou jsou při rotaci válečků podávána jednotlivá vlákna do pracovní zóny. Stužka 3 staplových vláken je přiváděna ke svěru 2 tak, že část vláken nacházejících se na

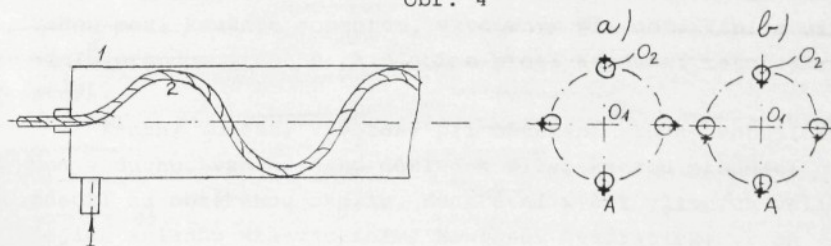
krajích této ploché stužky je odkláněna od původního směru o úhel α . Dříve, než odkláněné vlákno je celé vytaženo ze stužky 3 projde svěrnou linií 2 a tak nastane situace, kdy v zákrutovém trojúhelníku 4 je část tohoto vlákna zachycena a převedena do zakrouceného svazku 5 a zbývající část vlákna, protože není svěrem 2 zachycena, se nezakrucuje, ale vytváří volný konec 6 vyčnívající z povrchu zakrouceného svazku.

5.3.2 Udělování nepravých zákrutů rotujícím proudem vzduchu

Ze struktury svazkové příze je zřejmé, že udělování nepravých zákrutů musí probíhat s ohledem na potřebnou manipulaci s volnými konci. To omezuje možnost použití známých mechanických prostředků (vřetýnko, frikční kotouče) pro udělování zákrutu, jak je známe z tvarování chemického hedvábí. Společným rysem těchto prostředků je vyvození značného přítlaku a tím i značné třecí síly mezi povrchem zakroucené stužky a rotujícím povrchem zakrucovacího prostředku. Jejím důsledkem je shrnování volných konců, které v místě udělování nepravých zákrutů jsou s povrchem zakroucené stužky jen neurčitě spojeny. Další typickou vlastností těchto prostředků je náhlá změna hustoty zákrutů z velikosti $\frac{R}{W}$ na nulu. Tuto náhlou změnu nestačí volné konce sledovat do té míry, aby se mohly ovinout kolem rozkrucujícího se jádra.

V rotujícím proudu vzduchu je stužka vláken zakrucována jiným mechanismem, viz obrázek.

Obr. 4



Proudem vzduchu rotujícím v trubici 1 je stužka vláken 2 vyosena ke stěnám trubice a je proudem vzduchu obtékána tak,

že rotuje kolem osy trubice O_1 . Pro vznik zákrutů je nutné, aby stužka 2 se otáčela kolem vlastní podélné osy O_2 . Při rotaci stužky 2 kolem osy O_1 mohou nastat dva mezní případy:

- a) bod A libovolně volený na povrchu stužky se za jednu otáčku stužky kolem osy O_1 otočí kolem osy O_2 také o jednu otáčku (viz obr. 4a).
- b) libovolný bod A povrchu stužky se za jednu otáčku stužky kolem osy O_1 , kolem osy O_2 nepootočí (viz obr. 4b).

Jinak řečeno: v případě a) se za jednu otáčku stužky 2 kolem osy O_1 udělí právě jeden zákrut; v případě b) se při otáčení stužky 2 kolem osy O_1 žádné zákruty neudělují.

Pravdivost této představy o mechanismu udělování zákrutů v proudu vzduchu je potvrzována těmito skutečnostmi:

- při zastavení osového pohybu nedojde k přetržení stužky hedvábí, přestože se nadále otáčí kolem osy O_1 ,
- stužka je v trubici l vyosena k stěnám, jak ukazují fotografie pořízené ve skleněné trubici. Příloha č. 1.
- počet otáček stužky kolem osy O_1 měřený na záznamu rychlokamery, dobře souhlasí s hustotou udělených zákrutů (měřen byl případ - axiální rychlost stužky 1 m/s; hustota zákrutů 1800 až 1900 /z/m/, naměřený počet otáček stužky 2000 až 2200 /l/s/.

Lze tedy konstatovat, že zákruty jsou stužce udělovány při její rotaci kolem osy O_1 tak, že za jednu otáčku kolem osy O_1 je uděleno množství zákrutů z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Skutečná hodnota udělovaných zákrutů je určena v rámci tohoto intervalu rovnováhou mezi krutným momentem, vyvozeným při obtékání stužky rotujícím proudem vzduchu, a odporem proti kroucení této zakrucované stužky.

Krutný moment, vyvozený při obtékání stužky rotujícím proudem vzduchu, vzniká jako důsledek síly, kterou proudící vzduch působí na obtékanou stužku. Konkrétní výčet vlivných veličin a jejich skladbu ukazuje známý Newtonův kvadratický vztah

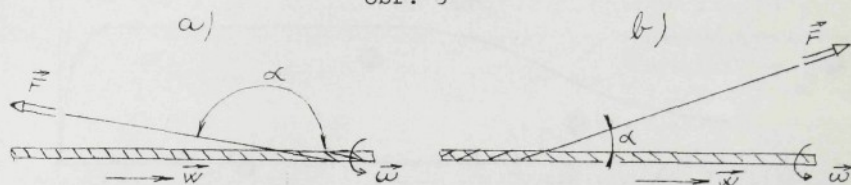
$$\vec{M}_K = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{r} \times c_x \int \frac{\rho}{2} \vec{A} \quad (6)$$

Jednotlivé veličiny lze podrobněji rozebrat pouze na základě znalosti proudového pole rotujícího vzduchu v trubici.

5.3.3 Napojení volných konců na zakroucenou stužku

Volné konce, vytvořené z částí vláken, která jsou svojí zbývající částí zakotvena v zakroucené stužce, je možno kinematicky napojit na povrch rotující zakroucené stužky dvojím základním způsobem, lišícím se podmínkou $\alpha \in (0; \pi/2)$, $\alpha \in (\pi/2; \pi)$. Viz obr.

Obr. 5



Volný konec je možno napojit na povrch rotující zakroucené stužky tak, že je volný konec napínán nějakou silou $\vec{F}$, která svírá s osou stužky úhel α . Velikost a směr síly $\vec{F}$ určuje spolu s kinematickými podmínkami pohybu stužky ($\vec{\omega}$, $\vec{w}$) konkrétní charakter napojení volného konce.

Nejzávažnějším faktorem pro charakter napojení volného konce na zakroucenou stužku je úhel, který svírá volný konec s osou stužky. Jak ukazuje obr. 5, lze vhodnou volbou úhlu α napojit volný konec na zakroucenou stužku jak v určitém rozmezí úhlu stoupání ve směru zákrutů stužky, tak i v opačném směru. Tato skutečnost má značný praktický význam a její provozní zvládnutí vytváří předpoklady pro výhled přízí rozdílných vlastností srovnatelných s posunem vlastností u přízí monotónně kroucených s menším či větším počtem zákrutů.

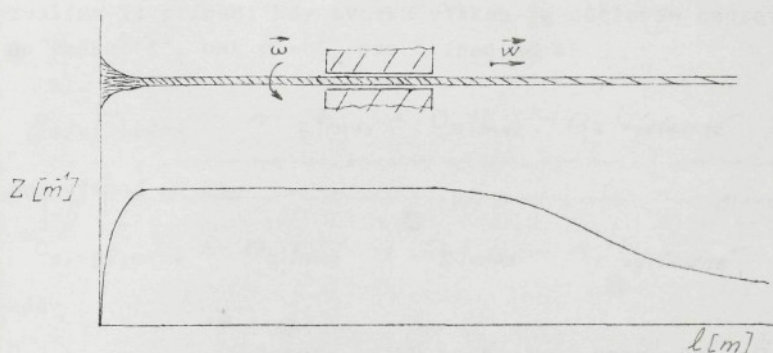
5.3.4 Ovívání volných konců kolem rozkručující se stužky vláken

Stužka vláken se v průběhu zakrucování nepravým zákrutem otáčí kolem vlastní podélné osy s úhlovou rychlostí $\vec{\omega}$,

která se mění po délce stužky se změnou hustoty zákrutů.

Z vyhodnocení fotografií zakrucovaných stužek složených z černých a bílých staplových vláken (viz ukázka v příloze 2), lze průběh změny hustoty zákrutů po délce stužky schématicky znázornit takto:

Obr. 6



V ustáleném stavu je hustotou zákrutů přesně určena i hodnota úhlové rychlosti zakroucené stužky při rotaci kolem vlastní osy.

$$|\vec{\omega}| = |\vec{\omega}| \cdot Z \quad (7)$$

Volné konce se napojují na povrch zakroucené stužky v zóně AB. Při anulaci zákrutů stužky v zóně BC, ačkoliv se stužka sama otáčí stále do stejného smyslu, způsobuje zpomalování rotace stužky, navíjení volných konců do směru opačného než jsou nepravé zákruty udělené stužce. Pro případ uvedený na obr. 5a) nejdříve dojde k anulaci počátečních ovinů volných konců kolem stužky a pak k jejich převinutí do opačného směru se stoupáním šroubovice ovinů daným rozdílem mezi stoupáním šroubovice nepravých zákrutů na povrchu stužky v místě jejich maximální hustoty a stoupáním šroubovice ovinů v téměř místě. Pokud nedojde v důsledku utažení stužky oviny k úplné anulaci nepravých zákrutů, je potřeba odečíst i hodnotu stoupání zbytkových zákrutů stužky. Pro případ uvedený na obr. 5b) je průběh zcela analogický s tím, že vzhledem k počátečnímu smyslu ovinů nedochází k jejich převíjení na

opačnou stranu a stoupání jejich šroubovice je dáno součtem stoupání šroubovice nepravých zákrutů v místě jejich maximální hustoty a stoupání šroubovice ovinů v témže místě stoupání úměrné zbytkovým zákrutům se ovšem také odečítá.

Uvedené úvahy lze zapsat pomocí jednoduchých vztahů. Zvolíme-li případ, kdy svazku vláken je udělován nepravý zákrut do směru "Z", pak platí pro případ ad a)

$$O_{s/výsledné} = n_{vz/max} - O_{z/max} - n_{z/výsledné} \quad (8)$$

pro případ ad b)

$$O_{s/výsledné} = n_{z/max} + O_{s/max} - n_{z/výsledné} \quad (9)$$

kde

$O_{s/výsledné}$ - hustota ovinů po anulaci nepravých zákrutů

$n_{z/max}$ - maximální hustota nepravých zákrutů dosažená na svazku

$O_{z/max}$ - hustota ovinů volných konců na svazku v místě, kde má svazek maximální hustotu nepravých zákrutů $n_{z/max}$

$n_{z/výsledná}$ - zbytková hustota zákrutů svazku způsobená nedokonalým rozkroucením.

Je zřejmé, že z praktického hlediska je případ ad b) příznivější jednak proto, že volné konce neprocházejí "choulostivým" stavem, kdy jsou zcela rozvinuty podél stužky a jsou snadno shrnovány třecími silami v reálných zařízeních a dále, že hustota ovinů dosažitelná tímto způsobem je nižší než způsobem ad a), a to má vliv na kompaktnost struktury a tím na mechanické vlastnosti příze.

5.3.5 Návrh způsobu tvorby svazkové příze

Vyslovená pracovní hypotéza a podrobnější rozbor základních dějů umožňují formulovat návrh tvorby svazkové příze jako sled vybraných operací, které mají předpoklady plnit optimálně funkce na ně kladené.

1. Vytváření volných konců odkloněním části vláken před svěrem prvního páru válečků průtahu o ostrý úhel v rovině svěru průtahu.

Pro řízené vytváření určitého počtu volných konců s předem zvolenou délkou se tato varianta jeví příznivější než "vyčesávání" konců vláken ze zakrouceného svazku nebo jejich odklánění ze zákrutového trojúhelníku.

2. Napojení volných konců na zakroucený svazek tak, aby svíraly s osou zakrouceného svazku ostrý úhel. α -
Tento způsob umožňuje výrazně vyšší hustotu ovinů na výsledné přízi, než způsob s napojováním pod tupým úhlem α .
Současné volné konce neprocházejí "choulostivým" stavem, kdy jsou uloženy paralelně s osou rozkrucujícího se svazku vláken v okamžiku, kdy se původní směr ovinů mění na opačný.
3. Zakroucení svazku vláken na maximální hodnotu hustoty nepravých zákrutů, při které ještě nedochází ke ztrátě stability zakrucovaného svazku.

5.4 Experimentální a teoretická analýza rozhodujících dějů

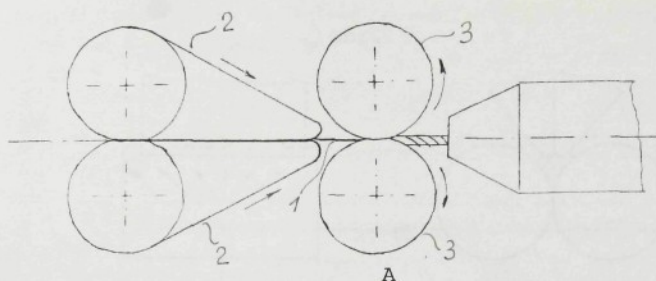
V předcházející části zformulované textilně technologické podmínky tvorby svazkové příze tryskovým dopřádáním mají svoji podstatu v následujících mechanických dějích:

1. Proudění vzduchu vyvolané rotací páru válečků.
2. Proudění vzduchu v trubici s tečně zaústěnými tryskami.
3. Sdílení hybnosti mezi proudícím vzduchem a textilními vlákny.
4. Mechanika zakrucování svazku textilních vláken vystupujících ze svěru válečků.

5.4.1 Proudění vzduchu vyvolané rotací páru válečků

Konkrétní situace, charakterizovaná z hlediska tvorby příze tím, že do zákrutotvorné zóny je svazek vláken l přiváděn svěrem páru rotujících válečků 3, před které je předřazen pár kůžiček 2, je znázorněna na obr. 7.

Obr. 7



Oblast v blízkosti roviny A má pro tvorbu svazkové příze zcela zásadní význam. V blízkosti válečků 3 rotujících s obvodovou rychlostí 2-3 /m/s/ vzniká výrazné proudové pole. Povrch kůžiček 2 se pohybuje rychlostí 0,1 - 0,15 /m/s/, proto jsou kůžičky dále uvažovány pouze jako pevná stěna.

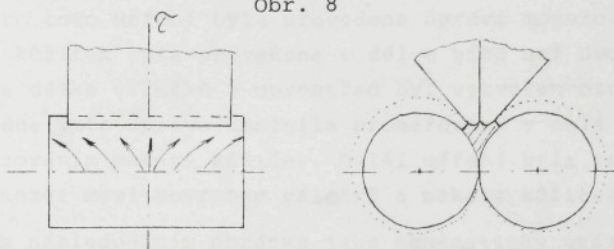
Pro vyšetření proudového pole v popsáném případě byly provedeny následující práce:

1. Elementární kvalitativní rozbor. Především odhad předpokládaných směrů proudění verifikovaný pozorováním směru natočení vláken zavedených do sledovaného prostoru.
2. Návrh experimentálního zařízení a postupů experimentů.
3. Zviditelnování proudu a měření rychlostního pole.

V případě rotujícího páru válečků lze očekávat:

- bezprostředně za výstupem ze svěru se na obou površích válečků vytvoří mezní vrstva,
- tloušťka mezní vrstvy bude postupně narůstat,
- v oblasti svěru bude většina vzduchu z mezních vrstev odtlačována v rovině svěru válečků,
- tento zpětný proud naruší v určitém okolí i přítok v mezních vrstvách a lze proto očekávat vznik vírů,
- pro reálný případ přisazení kůžiček poměrně těsně k povrchu válečků (vzdálenost menší než 1 mm) dojde k výraznému proudění v prostoru nedokonale uzavřeného kanálu tvořeného částí kůžiček v okolí jejich předního svěru a částí povrchu válečků před svěrem, viz šrafovaná část na obr. 8.

Obr. 8



Proud bude v důsledku symetrie směřovat od středu kanálu daného rovinou symetrie $\sim$ na obě strany a v důsledku narůstajícího množství vzduchu odtlačovaného ze svěru se bude rychlost proudění zvětšovat.

Pro ověření platnosti uvedených předpokladů byl navržen a realizován model sestávající z páru průtahových válečků poháněných regulačním motorem a s posuvnou maketou ve tvaru kůžiček.

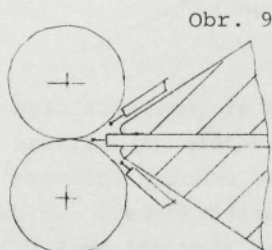
Pro první přiblížení k charakteru proudění v rovině symetrie bylo zvoleno zviditelnění proudnic ve vodě pomocí Al částic. Zviditelnění bylo zadáno na katedru tepelných a hydraulických zařízení /83/. Typické snímky jsou pro ilustraci v příloze č. 3. Srovnání jednotlivých snímků umožnilo usoudit na vliv přibližování kůžiček k povrchu rotujících válečků, především na existenci vírových úplavů a způsob jejich změny se změnou geometrického uspořádání kůžiček.

Na základě informací z tohoto zviditelnění bylo na stejném pracovišti zadáno zviditelnění reálného proudění vzduchu metodou světelných řezů. Jako zviditelňovací částice byl volen kouř, Al prášek a lykopodium. Žádný z těchto materiálů ve spojení s dostupnou osvětlovací a fotografickou technikou neumožnil získat dostatečně kvalitní záznam. (Viz ukázka v příloze č. 4). Přesto se podařilo pracovníkům KTHZ VŠST zakreslit typický obraz proudění na základě velkého počtu pozorování děje /82/, viz příloha č. 5.

Na základě zviditelňování proudu bylo s KTHZ VŠST dohodnuto proměření rychlosti proudění metodou žhaveného drátku aparaturou DISA spojenou s osciloskopem. Záznam obrazovky osciloskopu byl zachycen na fotografii, viz ukázka v příloze č. 6.

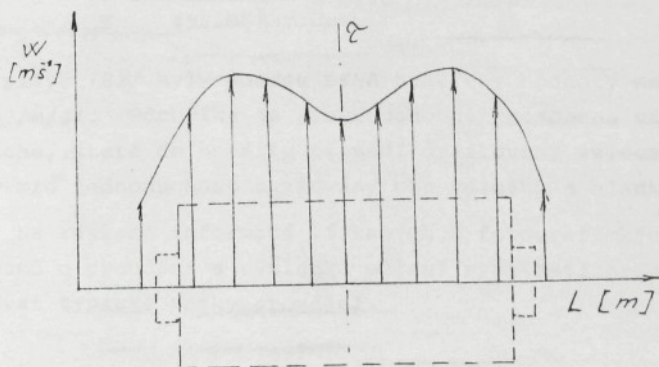
Pro toto měření byla provedena úprava modelu tak, že maketa kůžiček byla provedena v délce více než dvojnásobné jako je délka válečků a uprostřed byl vytvořen otvor pro měřicí sondu. Tato úprava umožnila proměřování v celé délce kanálu traverzováním makety kůžiček. Další měření byla prováděna v blízkosti mezer mezi povrchem válečků a makety kůžiček.

Na následujícím obrázku jsou schematicky ukázána místa měření.



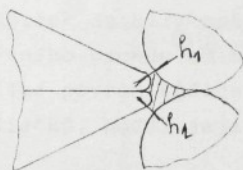
Naměřené hodnoty jsou ve formě fotografií obrazovky osciloskopu soustředěny ve zprávě /82/. Zpráva byla analyzována a lze konstatovat, že naměřené průběhy potvrzují předpokládaný průběh rychlostí. I když délka drátku sondy je srovnatelná s šířkou měřeného kanálku a je tedy měřena pouze určitá střední hodnota rychlosti, lze zcela zřetelně pro jednotlivé měřené případy určit tvar rychlostního profilu, viz ukázka na následujícím obrázku.

Obr. 10



Pro kontrolu bylo zjednodušeným výpočtem stanoveno množství vzduchu protékajícího kanálem tvořeným povrchem kůžiček a předních válečků. Uvažovaný prostor "kanálku" je na následujícím obrázku šrafován.

Obr. 11



Měřením bylo zjištěno, že ve vzdálenosti 0,3 mm (tato vzdálenost odpovídá praktickému nastavení kůžiček $h_1 = h_2 = 0,3$ mm) není rychlost proudění vzduchu menší než 90 % obvodové rychlosti povrchu válečku v . Předpokládáme-li lineární průběh rychlosti do vzdálenosti 0,3 mm lze brát za průměrnou rychlost proudění vzduchu 0,95 v . Štěrbinami o šířce h a délce l přiteče do kanálku množství vzduchu

$$Q = 2 \cdot h \cdot \frac{l}{2} \cdot 0,95 v = 2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95 \cdot 1 = 8,55 \cdot 10^{-6} \text{ /m}^3/\text{s/}$$

Planimetrováním výkresu^{se} zvětšením 10:1 byla stanovena plocha kanálku na $F = 40 \text{ mm}^2$.

Předpokládáme-li, že veškerý vzduch vyteče kanálem ve směru rovnoběžném s podélnými osami válečků, bude výtoková rychlost

$$w = \frac{Q}{F} = \frac{8,55 \cdot 10^{-6}}{45 \cdot 10^{-6}} = 0,20 \text{ /m/s/}$$

Ve zprávě /82/ byly sondou DISA naměřeny hodnoty mezi 0,24 až 0,26 /m/s/. Odchylka je pravděpodobně způsobena větším množstvím vzduchu, které do kanálku přivádí drážkovaný váleček. Ve výpočtu byly pro jednoduchost uvažovány oba válečky s hladkými povrchy.

Na základě informací získaných z fotografických i kreslených záznamů o proudění a výsledků měření rychlostí proudění lze formulovat typické znaky proudění:

1. Proud v kanále je symetrický podle roviny Σ .
2. Drážkovaný váleček unáší větší množství vzduchu než váleček s gumovým potahem. Důsledkem je odchýlení zpětného proudu od roviny svěru válečků na stranu válečku s gumovým potahem.
4. Přibližováním kůžiček do blízkosti povrchu rotujících válečků se odchýlení zpětného proudu od roviny svěru zmenšuje. Zpětný proud obtéká povrch kůžiček, vírová oblast se přemisťuje dále od svěru válečků, podíl jejich povrchu a intenzita ovinů klesá.

5.4.2 Proudění vzduchu v trubici s tečně zaústěnými tryskami

Z literatury pojednávající o proudění vzduchu, jak v Rangue-Hilchově vírové trubici, tak i v literatuře o rozprašování směsi paliva a vzduchu do spalovacího prostoru, je zřejmé, že v případě silně zakroucených proudů vzniká složité třírozměrné proudění s výrazným radiálním gradientem stavových veličin. Lze očekávat, že charakter proudění vzduchu se postatně změní po zavedení stužky vláken do trubice. O pravdivosti tohoto předpokladu svědčí nejen zkušenosti s jinými případy, např. tvarování hedvábí vzduchem, ale také výrazná změna spektra akustického tlaku zvuku generovaného vzduchem proudícím v trubici i např. zcela jiné naměřené pole statických tlaků na stěně.

Pro možnost vytvořit si alespoň představu o vzájemné interakci proudu vzduchu a stužky vláken bude užitečné zabývat se v prvním přiblížení prouděním vzduchu i bez jeho ovlivnění stužkou vláken.

Textilní technologie klade na trubici dva základní požadavky - nasát vlákna a udělit svazku vláken zákrut. Z hlediska proudového pole to především znamená analyzovat vytváření podtlaku v blízkosti osy trubice a radiální rozložení obvodové složky rychlosti a souvislost těchto hodnot s geometrickým uspořádáním trubice.

Z technicko ekonomického hlediska tvorby svazkové příze tvoří provozní spotřeba tlakového vzduchu významnou položku nákladů a je proto nutno analyzovat proudění i s cílem minimalizace energetické náročnosti.

a) Matematické modelování:

Na základě informací z literatury byly práce z počátku zaměřeny na sestavení matematického modelu, který by umožnil experimentování na počítači tak, aby při změně okrajových podmínek bylo možno zajišťovat odezvu v proudovém poli. Zaměření bylo motivováno snahou o rychlou a levnou optimalizaci konstrukce trubice, především geometrie v okolí tečně zaústěných trysek a vycházelo z optimistických informací o schůdnosti modelování metodou konečných prvků u obdobných případů uvedených v /76/.

Sestavení matematického modelu bylo prováděno následujícím postupem:

1. Formulace a rozbor předpokladů.
2. Zjednodušení obecných pohybových rovnic a rovnic zachování na základě předpokladů.
3. Zavedení proudové funkce a rotace.
4. Formulace okrajových podmínek.

V této podobě byl model předán specialistům výpočtářům k provedení následujících prací:

5. Formulace diferenčních vztahů a iteračního řešení
6. Sestavení programu
7. Odladění programu na jednoduchém proudění ve válcové trubici s idealizovaným vstupem.
8. Výpočet praktických případů.

Paralelně s pracemi na matematickém modelu probíhalo zviditelnění proudění. V době, kdy probíhalo odladování programu, bylo zjištěno, že základní představa o osové symetrii proudění, která je využívána ve všech známých literárních zdrojích, pro sledovaný případ neplatí. Typické pro sledovaný případ je tečné zaústění dvou trysek do komory. Zvýšení počtu trysek (které by teoreticky mohlo přinést přiblížení k osově symetrickému proudu) nevede ke zlepšení spřádného procesu a výroba každé trysky je poměrně náročná, proto nutno považovat zaústění dvou tečných trysek pootočených o π za reálné provedení, kterému se musí model v základních rysech podobat.

Práce na matematickém modelování byly zastaveny, protože obecné trojrozměrné proudění stlačitelné tekutiny nelze dosud řešit ani na nejmodernějších počítačích.

Přestože nelze matematický model použít dle původního předpokladu k experimentování na počítači, byl model použit při objasňování skutečností zjištěných při zviditelňování a měření proudění.

b) Přímé měření veličin proudového pole:

Ve sledovaném případě naráží realizace přímého měření především na velmi malé rozměry trubice. Rychlosti trojrozměrného proudění lze obecně měřit směrovými sondami. Jejich rozměry však přesahují rozměry trubice.

S ohledem na charakter proudu lze přímo měřit ^{rozložení} rychlostí teplot a tlaků v ose a na stěnách trubice, při čemž lze alespoň v některých průřezech tyto hodnoty považovat za blízké ke statickým hodnotám. Dále je možno měřit velikosti průtoku trubicí. Zvětšení rozměru trubice pro měření při respektování zásad fyzikálního modelování je pro silně zakroucené proudy problematické.

V nerotujícím proudění vzduchu tohoto typu stačí k dodržení přibližné podobnosti shodnost čísla Reynoldsova, jako poměru setrvačných a viskózních sil a čísla Machova, které v případě adiabatického proudění vyjadřuje poměr tlakových a setrvačných sil.

V silně zakroucených proudech s výrazným gradientem tlaku v radiálním směru závisí podobnost proudění zřejmě i na průběhu tohoto gradientu.

V relativně jednoduchém případě proudění mezi dvěma sousými rotujícími nekonečnými válci je zaváděna modifikace Reynoldsova čísla, t.zv. číslo Taylorovo $Ta = v_i d / \nu \cdot \sqrt{d/R_i}$

kde " d " je šířka štěrbin mezi válci a index " i " přísluší vnitřnímu válci.

Tato problematika je podrobně rozebírána v /86/. Zde je zřejmá závislost kriteria podobnosti na křivosti povrchu.

Rozhodující odlišnost silně zakroucených proudů od přímých proudů tkví v nezanedbatelné velikosti odstředivé síly. Z pohybové rovnice do radiálního směru je možno usoudit, že odstředivá síla je kompenzována především gradientem statického tlaku, čili že můžeme psát

$$\rho \frac{v^2}{r} \sim - \frac{\partial p}{\partial r} \quad (10)$$

Tato radiální rovnováha vyvolává výrazné změny i v osovém proudění. Pro silně zakroucený proud dochází ve válcové trubici k nasávání v oblasti blízko osy trubice na obou čelních stranách, dále dochází k výrazným změnám statických teplot v radiálním směru a k dalším jevům.

V dostupné literatuře není modelování silně zakroucených proudů rozebíráno a řešení této otázky se vymyká rámci této práce.

Pro orientaci v problému byl vyroben 30krát zvětšený model pro jednoduchost výroby ze dřeva a jeho proměření provedeno na KEZ-VŠST Liberec /83/. Oprávněnost modelu při dodržení pouze čísla Re i způsob měření nerespektující dostatečně trojrozměrnost proudění, činí naměřené výsledky diskutabilními. Pro informaci je ukázka takto naměřených profilů uvedena v příloze č. 7.

Zviditelňování proudění:

Ze škály prakticky využívaných metod zviditelňování uvedených např. v /84/ se pro zviditelnění radiálního profilu obvodové rychlosti jevila jako nejprístupnější jiskrová metoda.

Pro reálné hodnoty, rychlost výtoků z trysek na úrovni rychlosti zvuku, poměru obvodové a osově rychlosti v blízkosti stěny větším než 1 a průměru trubice 3 mm dostaneme frekvenci otáčení proudu v trubici asi 25 kHz. V /85/ je zviditelňován podobný případ a maximální dosažitelná frekvence měření je 40 kHz. Při četnosti alespoň 6 přeskoků jisker po ionizovaných drahách na jednu otáčku by to znamenalo požadavek na frekvenci měření 150 kHz. Byla proto navržena modifikace metody spočívající v tom,

že jiskra nebyla opakovaně vysílána po ionizované dráze, ale na fotografii byla zachycována stopa jednoho jiskrového výboje. Myšlenkovým základem byla představa o tom, že při výboji vytvoří plynné a tuhé částice oddělené od stěny a osové elektrody jasnou stopu, jejíž tvar určí průmět rychlostního profilu do roviny $r\varphi$. Metoda byla realizována tak, že osou trubice byl veden tenký ($\varnothing$ 0,5 mm) lakovaný drát, který tvořil jednu elektrodu, stěny trubice tvořily druhou elektrodu. Osová souřadnice místa přeskočení jiskry byla určena lokálním porušením lakové izolace drátu. Náhodný zůstal úhel φ směru přeskočení jiskry. Samotné zviditelňování bylo realizováno tak, že jeden konec trubice byl zakryt planparalelní skleněnou destičkou, která umožnila výboj zachytit fotografickým aparátem umístěným nad trubicí. Elektrický impuls přivedený na elektrodu měl přibližně obdélníkový tvar a trvání 50 μs /. Clona fotoaparátu byla nad trubicí otevřena tak, aby byl celý děj bezpečně zachycen. Byl zviditelňován jak přeskok od osy ke stěně, tak i opačně pro tlak vzduchu přiváděného k tečným tryskám (viz ukázkou v příloze č. 8) 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,10; 0,12; 0,14; 0,16; MPa. Pro vyšší tlaky nebylo možno udržet drátkovou elektrodu ani přibližně v ose trubice.

Analýzou více jak šedesáti fotografií bylo zjištěno:

1. Fotografie souhlasí s předpokládanou skutečností v tom, že pro zvyšující se napájecí tlak ukazují delší dráhu částic za stejný čas.
2. Fotografie naznačuje, že s rostoucím tlakem napájecího vzduchu se maximum obvodové rychlosti posouvá blíže ke stěně trubice.
3. V oblasti blízko elektrod je rychlostní profil zřejmě zkreslen tím, že se na určité části povrchu utvoří při přeskočení jiskry jasný pás výboje, který nelze odlišit od pásu vzniklého unášením částic prouděním. Pás je výraznější na elektrodě na kterou jiskra dopadá.
4. Fotografie pořízené v různých časech pro stejné parametry mají výrazné odchylky.

Pro problémy s reprodukovatelností bylo od dalšího zviditelnění tímto způsobem upuštěno.

S ohledem na problémy provázející snahu o zjištění radiálního rozložení obvodové rychlosti bylo provedeno jednoduché zviditelnění proudu pomocí Al částic přisávaných do trubice osovým otvorem. Ke zviditelnění bylo přistupováno s představou, že bude získána určitá informace o vtoku osového proudu do trubice a jeho smíšení se zakrouceným proudem. S ohledem na předpokládanou turbulenci (pro charakteristický rozměr rovný průměru trubice je $Re = 6 \cdot 10^4$) bylo očekáváno rozptýlení zviditelňujících částic.

Výsledek tohoto zviditelnění, viz fotografie v příloze č. 9, byl překvapující.

Zviditelňující částice se po vtoku do trubice postupně soustředily do jednoho nebo dvou (podle toho zda byl tlakový vzduch přiváděn jedním nebo dvěma tečně zaústěnými tryskami) sevřených proudů opisujících šroubovici v blízkosti stěny trubice s téměř konstantním stoupáním.

Zajímavé je srovnání se záznamem barviva naneseného na stěnu trubice ve formě kapky, kterou proud vzduchu zformuje do stopy na vnitřním povrchu trubice, viz tofografie v příloze č. 10. Zatím co stopa barviva je formována ve směru tečných napětí, zaujímá proud částic nasávaný středovým otvorem tvar v souladu s rychlostním profilem. Podobnost záznamů vede k úvahám o shodnosti směru proudu a tečných napětí u stěny.

Výsledky analýzy fotografií, které byly pořízeny pro tři různé polohy zaústění osové trubičky a tlaky napájecího vzduchu 0,15; 0,2; 0,3; 0,4 MPa pro válcový, divergentní a konvergentní tvar trubice, lze shrnout do konstatování:

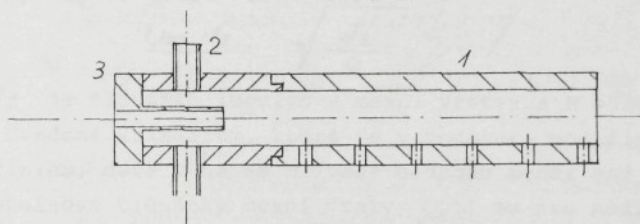
1. Al částice se po nasátí do trubice v určitém jejím průřezu zformují do úzkého (asi $0,1 d$) proudu. Přechod je poměrně náhlý. Osová vzdálenost mezi viditelným koncem nasávaného proudu v ose a začátkem šroubovice je malá.
2. Na některých záběrech je patrné, že sevřený proud částic se ve šroubovici štěpí na dva nebo i více blízko sebe ležících kongruentních proudů.

3. S rostoucím napájecím tlakem se mírně zvyšuje hustota zákrutů šroubovice.
4. Zasunutí osově trubičky za otvory tečně zaústěných trysek má za následek výrazný axiální posun průřezu, kde dochází k přechodu částic z osově oblasti do šroubovice.
5. Konvergentní tvar trubice stabilizuje sevřené šroubovicové proudy a zvyšuje obvodovou složku rychlosti (zvyšuje se hustota zákrutů šroubovice). Divergentní tvar má opačný účinek.

Výsledky uvedeného zviditelnění zásadně zpochybnily předpoklad o osově symetrii proudu. Pro ověření pravdivosti těchto pochybností bylo provedeno měření statického tlaku ve stěně trubice pro různé souřadnice osově i obvodové.

Uspořádání, při kterém byly měřeny tlaky ve stěně, je schematicky znázorněno na následujícím obrázku.

Obr. 12



Část válcové trubice s tečnými otvory 2 byla vytvořena tak, že bylo možno přestavovat její úhlovou polohu vůči trubici 1, v které bylo vyvrtáno 8 otvorů v různých osových vzdálenostech od tečných vstupů. Při otáčení části 2 byly zjištěny výrazné rozdíly tlaků. V následující tabulce je uveden příklad naměřených hodnot.

Úhlová poloha	(grad)	0	90	180	270	360
naměřený tlak	(kPa)	108,8	108,6	109,5	111,1	108,9

Uvedené výsledky jsou v rozporu s předpokladem o osové symetrii proudu, který tvoří základ pro interpretaci dějů spojených s Ranque-Hilschovou trubicí anebo směřováním paliva a vzduchu v zakroucených prouděch.

Obraz proudění spíše připomíná Taylorovy a Görtlerovy pokusy s prouděním mezi koaxiálními válci a podél zakřivených stěn /86, 87/.

V souvislosti s představou o proudění řídicím se podobnými zákonitostmi jako Görtler-Taylorovy víry je nutno zpochybnit i zdánlivě samozřejmý předpoklad o turbulenci proudu. Soustředění zviditelněných částic do nerozptýleného paprsku spíše ukazuje na nestabilitu na úrovni nestability mezní vrstvy mezi koaxiálními válci při velikosti Taylorova čísla v rozmezí 41,3 až 400. Na základě prací Lipmanna uvádí Schlichting v /86/ kritérium pro přechod laminární formy proudění v turbulentní v případě obtékání vydaté plochy ve tvaru

$$\frac{U_{\infty} \delta_2}{\gamma} \sqrt{\frac{\delta_2}{R}} > 7 \quad (11)$$

kde δ_2 je tloušťka impulzové mezní vrstvy a R poloměr zakřivení stěny. Uvedené kritérium, které je v podstatě modifikovaným Taylorovým číslem, dává v našem případě hodnotu menší než 7 i pro velikost impulzové tloušťky mezní vrstvy 0,15 mm pro používaný poloměr trubice 1,5 /mm/ a předpokládanou rychlost proudu rovnou rychlosti zvuku. Protože tuto nebo menší tloušťku mezní vrstvy lze považovat za "rozumnou", lze i předpoklad o laminárnosti proudu považovat za rozumný.

Na základě zkušeností se zviditelňováním prouděním byla situace konzultována s pracovníky katedry tepelných a hydraulických strojů VŠDS Žilina, s ohledem na experimentální vybavení katedry byla prověřována metoda značkování proudu impulzně žhaveným velmi tenkým drátkem napnutým napříč přes trubicí, při současném snímání děje šliřováním.

Dále byla ověřována metoda sledování pohybu části charakteristického tvaru, které byly do proudu vmeteny při rozpadu drátku.

Obě metody jsou popsány v /88/.

U metody založené na značkování proudu napříč vloženým žhaveným drátkem dochází k jeho výrazné deformaci při obtékání rotujícím proudem. Tato deformace znemožňuje vyhodnocování záznamu, viz příklad v příloze č. 11.

Z fotografií pohybu charakteristických částic (viz příloha č. 12) je patrné, že metoda umožňuje sledovat pohyb určité částice po časových intervalech $32 \mu\text{s}$. Při vyhodnocování většího souboru záznamů však bylo konstatováno, že s ohledem na neurčitou hybnost vmetení částice do proudu a její předem neurčitelný geometrický tvar metoda nedává reprodukovatelné výsledky.

Souhrnně lze konstatovat, že nebyla nalezena metoda, která by umožnila jednoznačné zviditelnění radiálního rozložení obvodové složky rychlosti. Byly však získány důležité dílčí informace o charakteru proudění. Tyto informace umožnily zabývat se podrobnějším fyzikálním rozбором charakteristického modelu proudu.

1. Předpoklady o podmínkách v silně zakrouceném proudě vzduchu:

Vzduch je dokonalá tekutina, proudění je časově ustálené, bez rázových vln, adiabatické a probíhá v laminárním až přechodovém režimu. Působení vnějších objemových sil je zanedbatelné. Z uvedených předpokladů je diskutabilní laminárnost a adiabatičnost proudění.

Ve prospěch předpokladu o laminárnosti děje svědčí, že zviditelnovací částice z Al prášku se nerozptýlí, ale soustředí se do úzkého proudu opisujícího šroubovici a že číslo Ta je pravděpodobně menší než 7. Otázkou zůstává do jaké míry lze ve výrazném poli odstředivých sil považovat chování Al částic za podobné tomu, jak se chovají částice vzduchu. Je známo, že pro přímé proudy je tato podobnost velmi dobrá. Zkoumat do jaké míry zůstává zachována i pro sledovaný případ se vymyká možnostem této práce.

Podmínka adiabatičnosti znamená, že nedochází ke sdílení tepla, konkrétně v našem případě nejen sdílení mezi stěnami trubice a proudem, ale také mezi jednotlivými radiálními vrstvami proudu vzduchu. Měřením teploty proudu u stěny trubice byla zjištěna teplotní diference proti teplotě okolí menší než 2°C .

Pro uvažovanou rychlost proudění proběhnou částice vzduchu trubicí řádově za desetitisíciny vteřiny. S ohledem na krátkost času je zanedbáno i sdílení tepla mezi jednotlivými vrstvami.

2. Soustava rovnic popisující proudění zjednodušená dle uvedených předpokladů:

Rovnice kontinuity:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\rho r u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \varphi}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (12)$$

Pohybové rovnice pro ustálené laminární proudění bez vlivu vnějších objemových sil

$$r: \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial u}{\partial \varphi} - \frac{v^2}{r} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial r} - \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \tau_{rr}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} - \frac{\tau_{\varphi\varphi}}{r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} \right) \quad (13)$$

$$\varphi: \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{uv}{r} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial \varphi} - \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r}(r^2 \tau_{r\varphi}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{\varphi z}}{\partial z} \right) \quad (14)$$

$$z: \rho \left(u \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial w}{\partial \varphi} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} - \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \tau_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi z}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (15)$$

kde složky tensoru tečných napětí lze psát pomocí složek rychlosti deformace ve tvaru

$$\begin{aligned} \tau_{rr} &= -\mu \left\{ 2 \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{2}{3} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(ru) + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] \right\} \\ \tau_{\varphi\varphi} &= -\mu \left\{ 2 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{u}{r} \right) - \frac{2}{3} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(ru) + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] \right\} \\ \tau_{zz} &= -\mu \left\{ 2 \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(ru) + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] \right\} \\ \tau_{r\varphi} &= -\mu \left[r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \varphi} \right] = \tau_{\varphi r} \\ \tau_{\varphi z} &= -\mu \left[\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \varphi} \right] = \tau_{z\varphi} \\ \tau_{zr} &= -\mu \left[\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial z} \right] = \tau_{rz} \end{aligned} \quad (16)$$

Rovnice energetické bilance pro neizotermické proudění bez vnitřních zdrojů.

Pro homogenní tekutinu je možno psát rovnici energie v různých tvarech. S ohledem na experimentální možnosti při měření teplot je dále uveden tvar bilanční rovnice obsahující teplotu a měrné teplo.

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = -(\vec{\nabla} \cdot \vec{q}) + \left(\frac{\partial \ln \hat{V}}{\partial \ln T} \right)_p \frac{Dp}{Dt} - (\vec{\tau} : \vec{\nabla} \vec{V}) \quad (17)$$

Člen na levé straně představuje rychlost přírůstku tepla na jednotku objemu, první člen na pravé straně rychlost přívodu tepla vedením, druhý člen vratnou rychlost změny tepla na jednotku způsobenou kompresí nebo expansí a třetí člen nevratnou rychlost přírůstku tepla v jednotce objemu v důsledku vizkozní dissipace proudu.

Pro válcové souřadnice lze rovnici energetické bilance psát ve tvaru:

$$\begin{aligned} \rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial T}{\partial \varphi} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = & \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r q_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial q_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right] + \\ & + \left(\frac{\partial \ln \hat{V}}{\partial \ln T} \right)_p \left(u \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + w \frac{\partial p}{\partial z} \right) - \left\{ \tau_{rr} \frac{\partial u}{\partial r} + \tau_{\varphi\varphi} \frac{1}{r} \left(\frac{\partial v}{\partial \varphi} + u \right) + \tau_{zz} \frac{\partial w}{\partial z} \right\} - \\ & - \left\{ \tau_{r\varphi} \left[r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \varphi} \right] + \tau_{rz} \left(\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \tau_{\varphi z} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \varphi} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right\} \end{aligned} \quad (18)$$

Za předpokladu, že plyn je ideální, což pro vzduch jako převážně dvouatomový plyn platí velmi dobře můžeme ještě psát stavovou rovnici ve tvaru

$$\frac{p}{\rho} = R T \quad (19)$$

Proudové pole neznámých u, v, w, p, ρ, T je dáno rovnicemi (9-16).

Okrajové podmínky:

Má-li uvedená soustava rovnic jednoznačně popisovat daný problém, musí být proměnné jednoznačně určeny na všech hranicích

prostoru, kde proudění sledujeme. Základní okrajové podmínky lze určit ze známých fyzikálních podmínek

- podmínka ulpívání tekutiny na pevných stěnách

$$\vec{v}(r, \varphi, z) = 0 \quad \text{pro } r = R \quad (20)$$

- v případě středově souměrného rozložení vstupních tečných otvorů lze předpokládat i středovou souměrnost proudu (to potvrzuje i zdvitelnost proudu s dvěma otvory). Při středově souměrném proudu platí pro každý střed souměrnosti - tedy pro celou osu trubice 1

$$u = 0, v = 0, \frac{\partial w}{\partial r} = 0 \quad \text{pro } r = 0 \quad (21)$$

- tlakové gradienty na stěně

$$\frac{\partial p}{\partial r} \approx 0 \quad \text{v souladu s měřením /108/}$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = f_1(\varphi, z) \quad \frac{\partial p}{\partial \varphi} = f_2(\varphi, z) \quad (22)$$

- vstupní průřez je velmi komplikovaný. Praktická úloha je v našem případě dána potřebou najít takovou geometrii vstupního průřezu, pro který má proud maximální obvodovou složku rychlosti v blízkosti stěny a minimální statický tlak na ose trubice.
- vstupní průřezy - s dobrou shodou s naměřenými hodnotami se v podobných případech používá podmínka, že změna všech závisle proměnných je již na souřadnici z nezávislá. Tato podmínka se fyzikálně blíží nekonečné trubici. Výtok do okolního prostředí není touto podmínkou zachycen, ale ve většině případů dochází k velmi malému ovlivnění hodnot pole "proti proudu".

Konfrontace fyzikálního významu některých členů soustavy rovnic a výsledků experimentů:

V porovnání s přímými proudy mají silně zakroucené proudy výraznou složku obvodové rychlosti v_z . Z prováděných pozorování a experimentů je zřejmé, že rozhodující pro silovou rovnováhu v radiálním směru je odstředivá síla a její důsledek - zvyšující

se statický tlak s radiální souřadnicí.

$$\rho \frac{v^2}{r} \sim \frac{\partial p}{\partial r}$$

Základní praktickou otázkou pro úvahy o udělování zákrutů svazku vláken je jaký tvar radiálního rozložení má obvodová složka rychlosti proudění vzduchu.

Z názoru, informací v literatuře a z výsledků zviditelňování lze o radiálním rozložení obvodové složky rychlosti proudění předpokládat

- v ose trubice má nulovou hodnotu,
- je středově souměrné podle příslušného bodu na ose trubice, jeho velikost od osy trubice roste až do určité vzdálenosti od stěny,
- v této vzdálenosti má rychlostní profil své maximum,
- od maxima rychlosti klesá na nulovou hodnotu na stěně.

Pro hrubé přiblížení předpokládáme, že rovnici radiální rovnováhy (10) lze zúžit na rovnováhu mezi odstředivou silou a rostoucím statickým tlakem

$$\rho \frac{v^2}{r} = \frac{\partial p}{\partial r} \quad (23)$$

Pro oblast od osy trubice do maximální velikosti obvodové složky rychlosti budou zřejmě převažovat síly setrvačnosti a tlakové nad viskozními. V této radiální oblasti na axiální souřadnici, kdy je proud po výstupu z trysek již v trubici stabilizován do šroubovice s konstantním stoupáním, nebude pravděpodobně vliv třecích sil pro tvar radiálního profilu obvodové rychlosti rozhodující.

Jednotlivé členy levé strany rovnice (13) charakterizující setrvačné síly budou ve výše uvažované oblasti pravděpodobně výrazně menší než odstředivá síla. Rychlosti radiální "u" lze očekávat výrazně menší než obvodové a ani rychlost jejich změn podle jednotlivých souřadnic nebude pravděpodobně tak velká, aby se tyto členy vyrovnaly svoji velikostí hodnotě obvodové rychlosti v blízkosti jejího maxima. Vztah (23) bude tedy platit s menší chybou dále od osy a těsněji k oblasti maximální obvodové rychlosti.

Z energetického hlediska lze matematický model daný rovnicí (15) zjednodušit na základě těchto předpokladů.

Vzduch je ideální plyn a platí pro něj stavová rovnice

$$p \hat{v} = RT$$

Proudění je adiabatické. Kromě úvah uvedených dříve, je možno ještě konstatovat, že naměřený pokles teploty v ose trubice je v desítkách stupňů. Ve srovnání s možným přírůtkem vznikajícím třením a lokálním zastavením proudu je pokles teploty řádově větší.

V porovnání s rovnicí (14) to znamená, že zanedbáme členy charakterizující sdílení tepla vedením a dissipací.

I. zákon termodynamický pro adiabatický děj má tvar

$$c_v dT = p d\hat{v} \quad (24)$$

Stavovou rovnici lze upravit do tvaru

$$p d\hat{v} + \hat{v} dp = R dT \quad (25)$$

Spojením obou rovnic dostaneme

$$\hat{v} dp = c_v dT$$

Protože $\hat{v} = 1/\rho$ můžeme přepsat zjednodušenou rovnici radiální rovnováhy do tvaru

$$\frac{v^2}{r} dr = c_p dT \quad (26)$$

Tento vztah znamená, že změna teploty je závislá na velikosti odstředivé síly. Srovnáme-li skutečnost, že u přímých proudů nedochází k poklesu teploty a že zakroucené proudy se silově od přímých liší především odstředivou silou, je výsledek fyzikálně logický. K poklesu teploty dochází především v důsledku expanze vzduchu z oblastí okolo osy do oblastí radiálně vzdálenějších.

Rovnici (26) je možno vypočítat pouze pro známý průběh obvodové rychlosti v radiálním směru. Předpokládejme, že tento průběh lze modelovat mocninou funkcí. Výše uvedené předpoklady

o tvaru proudu odvozené především ze zviditelňování, tento předpoklad podporují.

$$V = \frac{V_R}{R} \cdot R^n \quad (27)$$

Uvedený vztah platí pouze pro oblast od osy trubice do vzdálenosti, kde je ovlivnění proudu zbrzděním o stěnu zanedbatelné, t.j. prakticky do inflexního bodu profilu obvodové rychlosti.

Z měření známe hodnotu teplotní difference mezi osou a stěnou. Předpokládáme, že v axiální vzdálenosti od tečně zaústěných trysek, kde byla naměřena maximální teplotní difference, souvisí tato skutečnost s ustávením radiálního profilu tlaku, který odpovídá maximální obvodové rychlosti proudění. V místech s maximální obvodovou složkou rychlosti se úhel stoupání šroubovice stopy zviditelňujících částic pohybuje okolo 30° . Pro celkovou rychlost proudu rovnou rychlostí zvuku, t.j. asi 310 m/s/ je možno odhadnout maximální velikost obvodové složky na 270 m/s/. Naměřena byla teplotní difference 37°C .

Dosadíme-li do rovnice (26) vztah pro mocninový profil rychlosti a integrujeme-li v mezích $(0, R)$, kde R je souřadnice kde obvodová rychlost V dosahuje svoji maximální hodnotu V^* , dostaneme

$$(2n-1) V_R^2 R^{2n-2} = C_R (T_R - T_0) \quad (28)$$

Pro výše uvedené hodnoty je možno tuto rovnici vyřešit pro neznámý exponent n .

Rovnice je transcendentní a lze ji řešit iteračními metodami. V konkrétním případě byla použita Newtonova metoda. Výsledná hodnota exponentu $n = 1,016$.

Pro adiabatický děj platí i známý vztah mezi teplotou a tlakem. Dosadíme-li naměřené hodnoty statického tlaku v ose (v místě, kde se mění směr axiální složky rychlosti a je proto $W = 0$) a na stěně dostaneme:

$$\frac{T_o}{T_R} = \left(\frac{r_o}{r_R} \right)^{\frac{2\epsilon-1}{K}} = \left(\frac{6,5 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot 10^{-4}} \right)^{0,286} = 0,884$$

$$T_o = 0,884 \cdot T_R = 0,884 \cdot 293 = 259 [K]$$

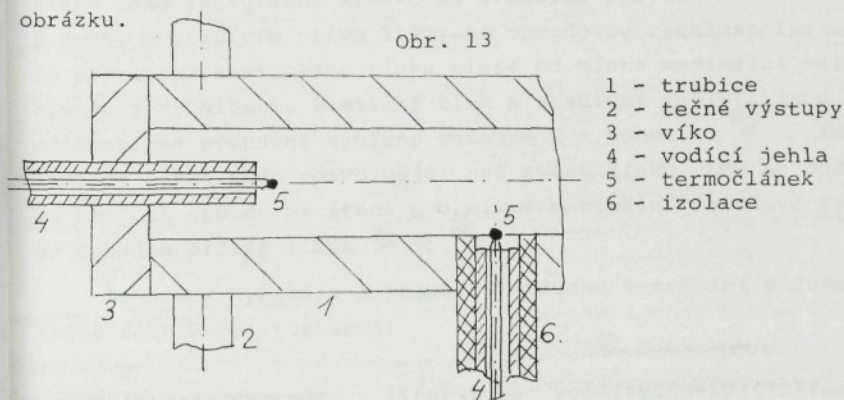
$$T_R - T_o = 34 [^{\circ}C]$$

I pro hodnoty statického tlaku je shoda naměřených a vypočtených veličin dobrá.

Uvedená úvaha ukazuje, že za přijmutých předpokladů je v oblasti mimo bezprostřední blízkost osy trubice a stěny trubice, radiální složka obvodové rychlosti (v axiálním průřezu, kde dochází ke změně směru axiálního proudění v oblasti blízko osy) přibližně lineárně rostoucí s poloměrem.

Měření teplot bylo prováděno pomocí mikrotermočlánek s rozměrem měřicího konce na 0,4 mm tak, že termočlánek byl zaveden do osy trubice i uvnitř duté jehly. Podobně byl zaváděn i do měřicích míst na stěně. Schematicky je měření znázorněno na následujícím obrázku.

Obr. 13



Měření je zatíženo chybami především s ohledem na praktickou přesnost umístění jehly do středu trubice, na odvod tepla termočlánekem, konečnou velikost termočlánek v tepelném poli o velkých gradientech atd. S ohledem na velmi přibližný charakter celé úvahy nebyly tyto vlivy podrobněji rozebírány. Ve stěně byly naměřeny ($\pm 2^{\circ}C$) teploty odpovídající statické teplotě napájecího vzduchu.

Situaci v_0 se charakterizuje následující tabulka, kde jsou zachyceny nejnižší teploty (nalezené v ose ve vzdálenosti 4 až 10 mm od ústí tečných trubíc) v závislosti na napájecím tlaku.

/MPa/p	0,1	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28
/°C/ T	18,5	10,3	6,3	1,5	-2,5	-6,1	-8,2	-11,2	-12,1

/MPa/p	0,3	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46
/°C/ T	-13,0	-13,7	-14,6	-15,5	-16,6	-17,6	-18,5	-19,0	-16,3

/MPa/p	0,48	0,50	0,52
/°C/ T	-16,3	-16,6	-16,6

Jako teplota T_R v místě maximální obvodové rychlosti byla brána teplota proudu naměřená na stěně. Pro uvedená měření $T_{st} = 19^\circ\text{C}$.

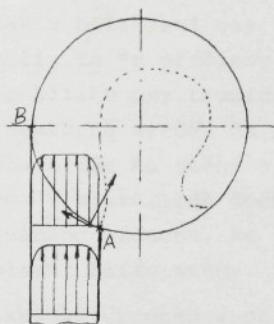
Z předcházejícího lze odvodit tvar radiálního profilu statického tlaku jako integrální křivku ke kvadrátu profilu obvodové rychlosti. Z úvahy o brzdícím vlivu stěny na obvodovou rychlost lze usoudit, že přírůstek statického tlaku klesá od místa maximální velikosti obvodové rychlosti. Statický tlak a statická teplota jsou pro adiabatické proudění spojeny vztahem $T = \text{konst.} \cdot r^{\frac{2\gamma-1}{\gamma}}$. Změny teploty budou tedy pozvolnější než změny tlaku. Lze se domnívat, že teplota proudu na stěně a v místě maximální obvodové rychlosti se nebudou příliš lišit.

Souhrnná hypotéza o proudění vzduchu v trubici s dvěma tečně zaústěnými tryskami:

Získané informace z literatury, zviditelňování, měření a úvah lze shrnout do následující souhrnné představy o proudění.

Proud vzduchu vystupuje z tečně zaústěných trysek do trubice rychlostí blízkou rychlosti zvuku. Vztaženo k vnitřní stěně trubice má výtok z trysek složku obvodovou a radiální jak je schematicky ukázáno na obrázku, z kterého je bezprostředně vidět souvislost mezi tvarem zaústění trysky do trubice a plynulostí přechodu přímého proudu do zakrouceného proudu.

Obr. 14



Z literatury [61] je do přílohy č. 13 převzat obrázek zviditelnění výtoku z jedné tečně zaústěné trysky do válcové komory.

Schematicky jsou podstatné rysy tohoto zviditelnění přeneseny i do uvedeného obr. č. 14. Čárkovaně je znázorněn okraj proudu. Po výtoku z trysky dojde na hraně A k rozšíření proudu. V důsledku zakřivování a tím vnikající odstředivé síly se proud postupně přimyká ke stěně trubice a na úhlu pootáčení již nedochází k dalšímu zužování proudu. Přibližně na úhlu $3/2 \pi$ se obraz proudu ztrácí, zřejmě v důsledku axiálního posunu proudu mimo hranici zaostření kamery. Axiální posun je nejméně takový, že proud pootočený o 2π se nesráží s proudem vytékajícím z trysky.

V celé délce trubice se proud pohybuje po šroubovici i v sevřeném tvaru. Sdílením hybnosti mezi jednotlivými částicemi se dostává do pohybu i okolní vzduch v trubici, ale nedojde k vyrovnání poměrů v obvodovém směru do té míry, aby proudění mohlo být považováno za osově souměrné.

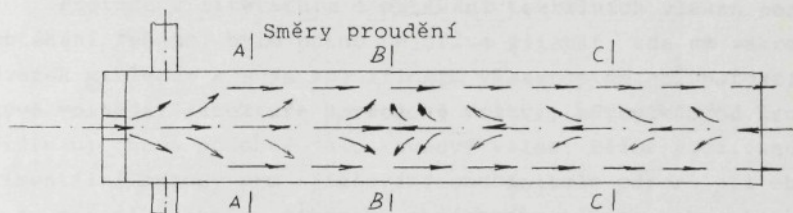
Rotací vzduchu v trubici vzniká, v důsledku odstředivé síly, výrazný tlakový gradient v radiálním směru s maximální hodnotou statického tlaku na stěně trubice. Příčinou axiálního pohybu proudu je rozdíl statických tlaků proudu a okolního vzduchu. Lze tedy předpokládat, že v blízkosti stěny bude mít proud statický tlak rovný tlaku okolí zvětšenému o ztráty třením a místní ztráty při výtoku z trubice.

Statický tlak v blízkosti osy trubice výrazně klesá pod hodnoty tlaku okolí. To je příčinou, že do trubice vtéká vzduch z okolí v oblasti blízko osy trubice z obou konců. Vzduch přisávaný z okolí je postupně uváděn do rotace a v důsledku odstředivé síly se přemisťuje blíže ke stěně a spojuje se s vytékajícím rotujícím proudem. V místě, kde dochází k setkání protisměrně proudícího přisávaného vzduchu, se všechny tento zbylý vzduch přemisťuje do oblasti blíže stěny.

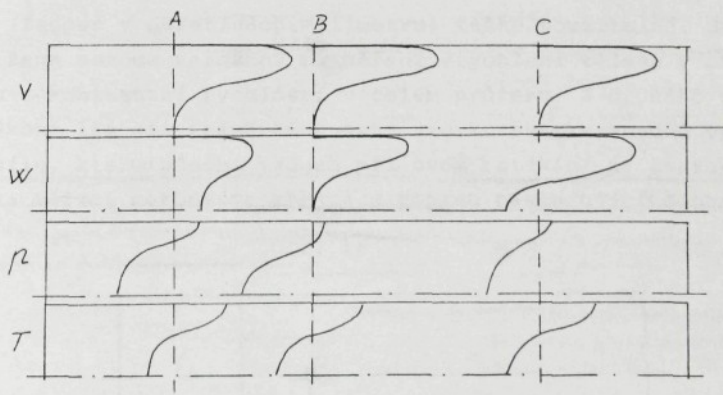
Důsledkem expanze vzduchu v oblasti blízko osy je pokles statické teploty vzduchu.

Předpokládaný průběh diskutovaných veličin proudového pole je na následujícím obrázku.

Obr. 15



Radiální průběh kinematických a stavových veličin v průřezích A, B, C.



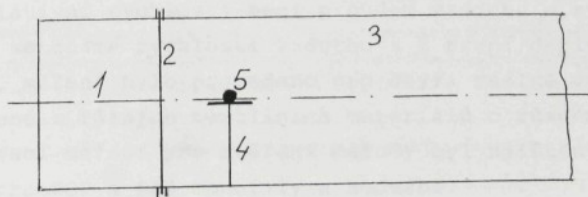
5.4.3 Sdílení hybnosti mezi proudícím vzduchem a textilními vlákny

Sdílení hybnosti mezi proudem vzduchu a textilními vlákny má v případě tvorby svazkové příze dvě praktická vyjádření. Jednak při udělování zákrutů stužce vláken, jednak při manipulaci s volnými konci.

Zakroucená stužka svým charakterem patří do kategorie t.zv. špatně obtékaných těles a z nich se nejvíce blíží kruhovému válci. Příčné obtékání kruhového válce proudem vzduchu je velmi dobře zmapovaný problém. Reálný případ se od obtékání kruhového válce liší především charakteristickými vlastnostmi a tvarem zakrouceného svazku příze, prostorově členitým proudem vzduchu a rotací svazku kolem vlastní osy.

Protože v literatuře o obtékání textilních vláken není příčné obtékání řešeno, bylo nutno nejdříve zjistit, zda se zakroucený svazek vzhledem k svým specifickým vlastnostem (chlupatosti, celkově volnější struktuře povrchové vrstvy, odchýlkám od kruhového průřezu) chová podobně jako kruhový válec. Běžně používané experimentální metody pro zjišťování součinitele odporu při obtékání, t.j. měření reakcí v závěsech obtékaného tělesa nebo měření změn proudění za obtékaným tělesem jsou s ohledem na malý rozměr svazku (řádově v desetinách milimetru) těžko použitelné. Byla proto navržena metoda založená na měření zrychlení tělesa v proudě vzduchu s konstantní rychlostí v celém průřezu. Z druhého Newtonova zákona lze při známé hmotnosti vzorku svazku snadno vypočítat sílu, kterou působí vzduch při svém obtékání na svazek. Myšlenka měřicí metody je zřejmá z popisu následujícího obrázku.

Obr. 16



Z tlakového prostoru rázové trubice 1 se po odpálení dělicí membrány 2 šíří proud vzduchu do prostoru 4. S ohledem na krátkost času není zde vyvinut rychlostní profil a zůstává v podstatě obdélníkový, viz fotografie v příloze 14. Čelo proudu sejme vzorek stužky 5 uložený na stolečku 4. Celý děj je filmován velmi rychlou kamerou s konstantním časem mezi jednotlivými obrázky. Polohu vzorku na jednotlivých obrázcích lze pak dosti dobře odečíst a vypočítat zrychlení vzorku.

Proměření bylo zadáno VSDS v Žilině, katedře tepelných a hydraulických strojů, kde je k dispozici rázová trubice i odpovídající filmová kamera. Detailní postup měření a získané hodnoty jsou uvedeny ve zprávě /89/. Navržená metoda prokázala velmi dobrou reprodukovatelnost.

Součinitel aerodynamického odporu stužky byl určován ze vztahu

$$C_x = \frac{2m \ddot{P}(t)}{\rho_2 A v_n^2} \quad (29)$$

kde:

- hmotnost vlákna m byla zjišťována vážením na analytických vahách,
- polynom $P(t)$ pro určení zrychlení stužky byl určován z jednotlivých poloh stužky v závislosti na čase získaných vysokorychlostní kamerou SFR-2M v režimu časové lupy, při časové vzdálenosti poloh stužky $32,2 \mu s$. Rázová vlna byla vizualizována šlírovacím přístrojem. Měřicí kanál měl obdélníkový průřez $35 \times 30 \text{ mm}$.
- měrná hustota vzduchu ρ_2 byla určována z předcházejících měření závislostí stavových veličin na Machově čísle.
- plocha průmětu vlákna byla určována planimetricky ze stínítka při stonásobném zvětšení,
- velikost relativní rychlosti mezi proudem vzduchu a svazkem byl určován ze známé rychlosti vzduchu a z první derivace polynomu $P(t)$, měření bylo provedeno pro čtyři reálné vzorky svazku tvořené z různých textilních materiálů o různém průměru. Jako srovnávací měření pro ověření metody byl zjištěn průběh $C_x = f(Re)$ pro POP a PAD monofily a hedvábí.

Měření ukázalo, že jednotlivé vzorky ze staplových textilních materiálů se v oblasti $Re \leq 1000$ chovají výrazně odlišně než kruhové válce reprezentované syntetickými nekonečnými vlákny.

Námi sledovaný praktický případ svazku o průměru asi 0,15 mm obtékáný rychlostí asi 200 m/s odpovídal $Re \approx 2 \cdot 10^3$. Pro tuto oblast se zakroucená stužka chová podobně jako kruhový válec. V oblasti $Re \in \langle 10^3 - 10^5 \rangle$ koeficient aerodynamického odporu nejdříve mírně stoupá z hodnoty asi 1 při $Re=10^3$ na hodnotu 1,2 při $Re = 10^4$ a zůstává na této hodnotě až do $Re=10^5$, viz např. literatura /90/. Na počátku této oblasti byl uvedeným měřením tento průběh hodnot potvrzen.

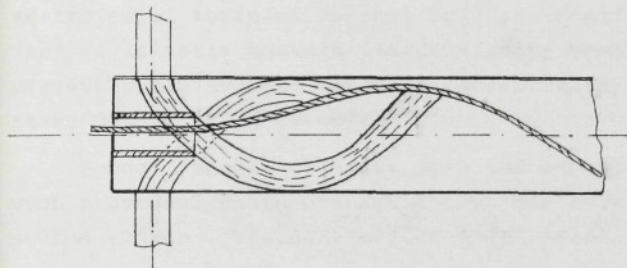
Obvodová rychlost otáčení povrchu zakrucované stužky, která je úměrná počtu zákrutů, ve sledovaném případě je menší než $1/\text{m s}^{-1}$. Toto tvrzení plyne z následující úvahy. Maximální hustota zákrutů udělená svazku vláken je podle odečtu ze záběrů rychlokamery asi 2000 zákrutů na 1 metr. Používaná axiální rychlost je $2,5 / \text{m s}^{-1}$, průměr svazku je asi 0,15 /mm/. Obvodovou rychlost lze pak vypočítat jako součin hustoty zákrutů axiální rychlosti a průměru svazku.

Při rotaci válce kolem osy při příčném obtékání vzniká t.zv. Magnussonův efekt /86/ jako důsledek skutečnosti, že na straně kde obvodová rychlost válce má směr příčného obtékání se proud od stěny neodtrhne. Na druhé straně kde jsou směry rychlostí opačné, je odtržení proudu silně závislé na poměru obvodové rychlosti povrchu válce a obtékajícího proudu. Vliv rotace válce na odpor při jeho obtékání začíná být znatelný, je-li obvodová rychlost povrchu válce srovnatelná s rychlostí proudu. Ve sledovaném případě je tato rychlost o dva řády menší a její vliv může být velmi pravděpodobně zanedbán.

V předcházející části byly diskutovány problémy spojené s prouděním vzduchu v zakrucovací trubici. Bylo konstatováno, že vzduch po výtoku z trysek proudí ve víceméně sevřeném proudu po šroubovicové dráze v blízkosti vnitřní stěny trubice. Průměr tohoto sevřeného proudu se pravděpodobně příliš neodlišuje od

průměru trysek. Na svazek vláken tedy naráží proud v krátké délce (řádově 1 mm). Přesto, že průměr svazku je asi 10x menší než průměr proudu, je proudění přítomností svazku velmi silně ovlivněno. Po zavedení vláken se podstatně změní pole naměřených statických tlaků a změní se i hluk, který při výtoku z trysek vzniká. Rozhodně nelze uvažovat o obtékání tělesa proudem vzduchu s konstantní rychlostí. Reálná situace je schematicky znázorněna na následujícím obrázku.

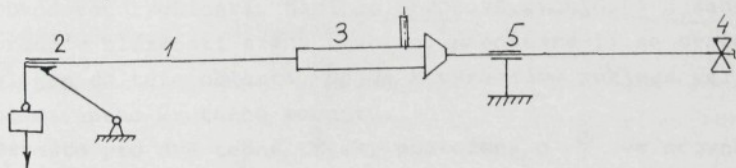
Obr. 17



Po prvním nárazu sevřeného proudu vzduchu na procházející svazek vláken se poměry v proudu výrazně změní. Měřené statické tlaky na stěnách se po zavedení stužky výrazně zrovnoměrní.

Proudové podmínky po zavedení vláken jsou velmi komplikované a nebyl nalezen jednoduše realizovatelný způsob jejich sledování. Z tohoto důvodu byla navržena a realizována měřicí metoda umožňující stanovit velikost krutného momentu, který proudící vzduch v trubici dokáže svazku vláken udělit. Měření je schematicky znázorněno na následujícím obrázku.

Obr. 18



Hedvábí 1 bylo svým jedním koncem uchyceno v neotočné čelisti 2, která udržovala konstantní napětí hedvábí. Po průchodu tryskou 3

bylo uchyceno v otočení čelisti 4, která byla vybavena zařízením na měření počtu otočení. Pro realizaci zařízení byl upraven zákrutoměr "Kovostav".

Samotné měření probíhalo tak, že po zavedení dvou různobarevných hedvábí byl do trubice 3 vpuštěn tlakový vzduch. Po určité době, kdy se uklidnila neotočná čelist 2, bylo hedvábí sevřeno skřipcem 5. Na délce $L = 0,25$ m byl změřen počet zákrutů tak, že otáčením čelistí 4 bylo hedvábí zcela rozkrouceno. V předcházejícím měření, kdy byl zákrutoměr vybaven speciálně sestrojenými torzními vahami, byly pro používání hedvábí sestrojeny závislosti: hustota zákrutů-krutný moment, které dovolily převést podle uvedené metody zjištěné zákruty na krutný moment, který dokáže proud vyvodit.

Pomocí popsané metodiky byla hodnocena schopnost jednotlivých provedení zakrucovacích trubic udělovat krutný moment stužce vláken. Výsledky měření měly zásadní význam pro optimalizaci konstrukce.

Těmito experimenty byl zjištěno, že velikost krutného momentu, který trubice je schopna přenést na svazek vláken:

1. Roste s rostoucím napájecím tlakem.

Tato závislost zřejmě plyne z rostoucí hybnosti proudu.

2. Roste s klesajícím poloměrem trubice.

Zdánlivý paradox srovnáme-li se základním vztahem

$\vec{M}_k = \vec{r} \times \vec{F}$. Zakrucovaný svazek vláken musí mít určité osově napětí, aby byl schopen zakrucování bez ztráty stability osy šroubovice. Osově napětí dovolí proudu vzduchu vyosit svazek pouze na určitý poloměr. S ohledem na rozložení rychlosti proudu v trubici je po dosažení maximálního přenosu síly potřeba, aby svazek vláken byl obtékán proudem s maximální obvodovou rychlostí. Maximum obvodové rychlosti dosahuje proud v blízkosti stěny trubice. Nedostane-li se svazek vláken do této oblasti, dojde k výraznému poklesu velikosti předávaného krutného momentu.

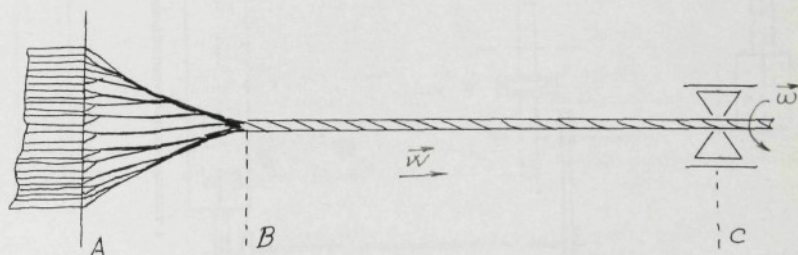
3. Vzroste pro dvě tečné trysky pootočené o π ve srovnání s jednou tryskou. Další zvyšování počtu trysek (z výrobních

důvodů zkoušeny 4 trysky po $\pi/2$) již nevede ke zvýšení. Z jedné trysky naráží proud o plné síle na svazek vláken pouze jednou. Druhá tryska zřejmě působí na svazek relativně samostatně, protože v oblasti zaústění trysek se proudy neovlivňují. Pro čtyři tečně zaústěné trysky dojde zřejmě k vzájemnému ovlivňování vtokových poměrů. Rotující proud z jedné trysky překrývá zaústění sousední trysky po směru toku. Z tohoto důvodu zřejmě nepřineslo ani zvýšení počtu trysek pootočených a axiálně přesazených zvýšení krutného momentu.

5.4.4 Odpor stužky vláken proti kroucení

V literatuře je sledována závislost krutného momentu na hustotě udělovaných zákrutů. Pokud jsou uvedeny podmínky experimentů je zřejmé, že tyto závislosti byly získány zakrucováním svazku vláken, který se osově nepohyboval. Tento případ se výrazně liší od reálné situace. Typickým přechodem z nezakroucené stužky do zakrouceného svazku je zákrutový trojúhelník.

Obr. 19

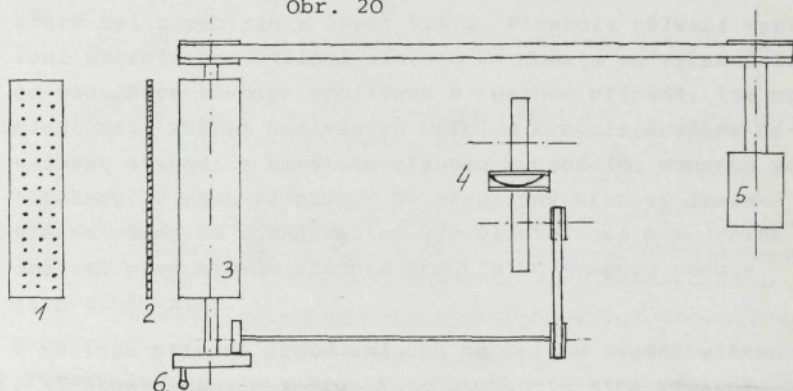


V ustáleném stavu je stužka vláken v úseku BC zakroucená s konstantní hustotou zákrutů, resp. pokles hustoty zákrutů od zdroje zakrucování v rovině C do roviny B, daný ztrátami krouťícího momentu uvnitř zakroucené stužky je minimální. To znamená, že úsek zakroucené stužky BC rotuje s konstantní úhlovou rychlostí kolem své vlastní podélné osy. Nedochází tedy v tomto úseku k odporu proti kroucení předpokládáme-li, že tření stužky při pohybu prostředím je zanedbatelné.

Rozhodujícím odporem proti zakrucování vláknenné stužky je úsek AB (zákrutový trojúhelník), kde se formuje struktura zakrouceného svazku, kde jednotlivé vlákno nabývá v interakci s ostatními vlákny svůj geometrický tvar. V zakrouceném svazku probíhají jednotlivá vlákna po prostorových křivkách - je tedy zřejmé, že pro jejich zformování do této podoby jsou namáhána tahem, ohybem i krutem.

Zákrutový trojúhelník můžeme definovat jako oblast, v které přechází plochá stužka nezakroucených vláken do zakrouceného svazku s přibližně kruhovým průřezem. S ohledem na rozhodující vliv oblasti v nejbližším okolí svěru podávacích válečků (na obr. 19) je znázorněn rovinou A a také s ohledem na velmi málo informací o dění v tomto prostoru, byl navržen a realizován model umožňující kromě jiného i pozorovat chování jednotlivých vláken v zákrutovém trojúhelníku. (Viz příloha č. 15). Model je popsán dle následujícího schematického obrázku.

Obr. 20



Z cívečnice 1, umožňující nasazení cca 100 dutinek s šicími nitěmi jsou jednotlivé nitě vedeny přes rozřadovací hřeben 2, který zajišťuje předem zvolenou polohu nití ve svěru páru podávacích válců 3. Svazek nití je zakrucován v ocelové trubici 4 s vnitřní planžetou, která se otáčí mezi třecími kotouči, do jejichž svěru je přitahována permanentním magnetem. (Zde byla s výhodou použita upravená krutná jednotka ze stroje TK300).

Svazek nití je odtahován párem válečků 5. Model je poháněn ručně klikou 6, přičemž poměr rychlosti válečků 3 a 5 a frekvence otáček vřeténka 4 je možno měnit v širokých mezích.

Od reálných poměrů při zakrucování stužky staplových vláken se podmínky na modelu liší především "nekonečností" nití, představující jednotlivá vlákna a neproměnným místem, do kterého jsou zaváděny ve svěru podávacích válečků 3.

Model byl konstruován na základě geometrické podobnosti dané poměrem průměrů skutečných staplových vláken a používaných šicích nití. Pro srovnání reálného děje a děje na modelu je nutno porovnat z hlediska podobnosti následující silové účinky:

- a) krutný moment vyvozovaný kroutícím ústrojím,
- b) osovou sílu vznikající jako důsledek obvodových rychlostí podávacích a odtahových válečků a působením krutného ústrojí,
- c) silové podmínky ve svěru podávacích válečků.

ad a) Ve sledovaném případě je kroutící moment vyvozován způsobem, který byl rozebírán v části 5.4.3. Přestože tělesné vytvoření ústrojí pro udílení zákrutů na modelu se výrazně liší od vzduchové trubice používané v reálném případě, lze pro oblast mezi svěrem podávacích válců a krutným orgánem považovat situaci z hlediska přenosu kroutícího momentu za totožnou. V obou případech je přibližně kruhový svazek vláken uveden do rotace kolem své vlastní osy a v určité oblasti před místem přenosu kroutícího momentu rotuje jako tuhý válec.

ad b) V reálném případě proud vzduchu působí na svazek vláken i složkou v osovém směru. Tato složka je sice výrazně menší než síla v příčném směru, přesto je její velikost nezanedbatelná. Na modelu je velikost osově síly možno snadno měnit změnou poměru obvodové rychlosti podávacích a odtahových válců. Z hlediska silových účinků na zákrutový trojúhelník lze obě situace považovat za totožné, pokud je stejná velikost osově síly přenášena prostřednictvím úseku zakrouceného svazku, který rotuje kolem své osy jako tuhý válec.

ad c) Na modelu, stejně jako v reálném případě, je možno považovat svěr podávacích válečků za realizaci dokonalého oddělení silových účinků.

Pozorování na modelu, pro různá uspořádání vstupujících vláken, umožnila vytvořit základní představu o geometrickém uspořádání a vazbách mezi jednotlivými vlákny.

Přechod uspořádání vláken z ploché stužky do zakrouceného svazku s přibližně kruhovým průřezem probíhá v určité oblasti s konečným osovým rozměrem, který tvoří t.zv. zákrutový trojúhelník. Experimentováním na modelu bylo zjištěno, že charakteristickým skladebným prvkem zákrutového trojúhelníku jsou spojení vláken, které bylo nazváno symetrické a asymetrické dvojice.

Základní odchylky modelu od skutečnosti, t.j. nekonečnost vláken a stálé místo jejich vstupu do svěru podávacích válečků, zjednodušují děj, ale nemění jeho podstatu.

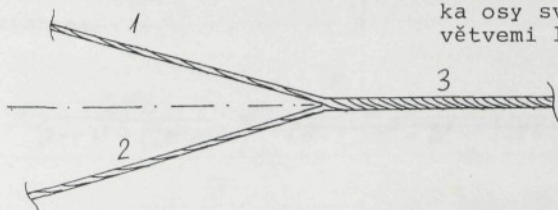
Základní myšlenka, že typické pro přechod ploché stužky do zakrouceného svazku prostřednictvím zákrutového trojúhelníku je postupné spojování vláken do stále komplexnějších symetrických anebo asymetrických dvojic, umožňuje logické vysvětlení praktických otázek.

Konkretizace této základní myšlenky je dále uvedena především s cílem zjistit vlivné veličiny a jejich vzájemné vztahy, které určují odpor svazku vláken proti zakrucování. Jsou naznačena některá možná vyústění do zákonitosti vzniku struktury příze.

Skutečně věrohodné ověření souvislosti mezi poměry v zákrutovém trojúhelníku a strukturou staplové příze však musí být založeno na značném množství experimentálních údajů. Svým zaměřením a rozsahem se vymyká cílům této práce.

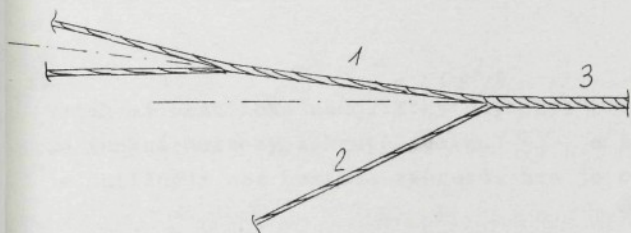
Symetrická dvojice - obr. 21

Charakteristickým rysem symetrické dvojice je skutečnost, že nositelka osy svazku 3 pólí úhel sevřený větvemi 1 a 2.



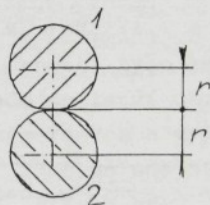
Asymetrická dvojice se liší od symetrické tím, že nositelka osy svazku úhel sevřený větvemi nepůlí. Příčinou asymetrie pro homogenní vlákna je odlišný průřez větví (t.j. v situaci na modelu odlišný počet vláken ve větvích). Odklonění osy svazku od kolmice k linii svěru podávacích válečků k asymetrii nevede.

obr. 22



U symetrické dvojice tvořené větvemi s elementárními vlákny kruhového průřezu, lze snadno odvodit vztah mezi hustotou zákrutů ve svazku 3 a ve větvích 1, 2. Větve se do zakrouceného svazku ukládají ve šroubovicích. Šroubovice jako prostorová křivka má nenulovou první i druhou křivost. Jedná-li se o válcovou šroubovici, pak jsou obě křivosti konstantní. Z průřezu svazku (viz obr. 21)

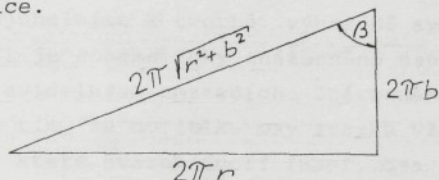
obr. 23



je vidět, že osy větví leží na válcové šroubovici s poloměrem r . Konstantní druhá křivost šroubovice, do které se ukládá větev ve svazku, vyvolá v této větvi konstantní zakroucení dané vztahem:

$$\kappa^2 = \frac{2\pi b}{(2\pi r)^2 + (2\pi b)^2} = \frac{1}{2\pi} \frac{b}{r^2 + b^2} = \frac{1}{2\pi b} \frac{b^2}{r^2 + b^2} = Z_3 \cdot \cos^2 \beta \quad (30)$$

Použitá symbolika je patrná z následujícího obrázku rozvinutého závitu šroubovice.



Protože druhá křivost vyvolává zkroucení větve, můžeme přímo psát vztah mezi hustotou zákrutů ve větvi (např. 1) a svazkem 3

$$Z_1 = Z_3 \cos \beta \quad (31)$$

Vztah má praktické nedostatky plynoucí z toho, že je úhel β je funkcí hustoty zákrutů svazku Z_3 a že se tento úhel zjišťuje obtížněji než hustota zákrutů. Lze je přepsat do tvaru:

$$Z_1 = \frac{Z_3}{(2\pi r)^2 Z_3^2 + 1} \quad (32)$$

Pro úpravu byla použita známá genometrická vazba $\cos \beta = 1/(\lg^2 \beta + 1)$ a vztahy mezi hustotou zákrutů a úhlem stoupání šroubovice na povrchu stužky,

$$Z_3 = \frac{1}{2\pi b}$$

$$\lg \beta = \frac{2\pi r}{2\pi b} = 2\pi r Z_3$$

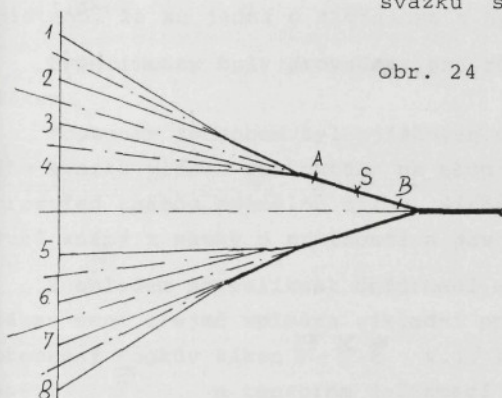
Tato úprava umožňuje zvýšit přesnost měření na modelu a převádí vztah do tvaru funkční závislosti $Z_1 = Z_1(Z_3)$ s poloměrem otáčení jako s parametrem. Ověření platnosti bylo zadáno formou diplomové práce /91, 92/. Na základě množství zkoušek pro různé režimy byla zjištěna dobrá shoda naměřených a vypočtených hodnot. Základní logickou kontrolu vztahu je možno udělat pro mezní hodnoty. Pokud se úhel β blíží 0, pak $Z_1 = Z_3$ a pro $\beta = \pi/2$ je $Z_1 = 0$, což souhlasí s realitou.

Provedení modelu umožňuje sledovat i závislost uspořádání vláken v zákrutovém trojúhelníku na jejich uspořádání v jakém jsou prováděna před svěrnou linií podávacích válečků. Z provedených pozorování lze konstatovat, že rovnoměrný přívod sudého počtu vláken tj. dodržení konstantních vzdáleností vláken od sebe, vede

v zákřutovém trojúhelníku k tvorbě výhradně symetrických dvojic.

Na obr. (23) je schematicky znázorněno uspořádání osmi nití přivedených v pravidelných roztečích. Znázorněné uspořádání je charakteristické tím, že nositka osy svazku vždy půlí úhel sevřený větvemi, které svazek tvoří (např. osa svazku 1234 půlí úhel sevřený větvemi 12, 34). Pro hustotu zákrutů v jednotlivých větvích platí dříve uvedený vztah

$$Z_{\text{větev}} = Z_{\text{svazku}} \cdot \cos^2 \beta = \frac{Z_{\text{svazku}}}{(2\pi r_{\text{svazku}})^2 Z_{\text{svazku}}^2 + 1} \quad (33)$$



obr. 24

V literatuře je možno najít zmínky o nerovnoměrném rozložení osových sil působících na jednotlivá vlákna vstupující ze svěru podávacích válečků do zakroucené stužky. Rozšířená je představa, že okrajová vlákna jsou napínána více než vlákna blíže ke středu ploché stužky vystupující ze svěru.

Uvedený geometrický model složený ze symetrických dvojic k této představě nevede. Pro zjištění skutečného rozložení sil v jednotlivých vláknech zákřutového trojúhelníku byla navržena a realizována následující měřicí metoda (viz příloha č. 16).

Větev, v které je velikost osových sil zjišťována, je sevřena ve dvou bodech např. AB tak, aby nebyla dodatečně napínána a přitom byl znemožněn pohyb krajních bodů měřeného úseku. Mezi těmito body v geometrickém středu úsečky S je větev zatížena

závažím o známé velikosti a je změřen průhyb vyvolaný tímto zatížením. Metoda převádí měření osově síly ve vláknech na měření jejich průhybu. Před použitím bylo nutno prověřit zda je průhyb funkcí osově síly a jaký má tato funkce průběh. Pro tento účel byl použit zákrutoměr, v kterém byly vzorky složené z různého počtu nití zatěžovány na jednom konci závažím a na druhém konci sevřeny v nepohyblivém svěru. Takto připravený vzorek byl sevřen i před napínacím závažím a ve středu úsečky mezi svěry zavěšena závaží. V místě závěsu byl změřen průhyb vzorku. Po vynesení hodnot průhybu v závislosti na velikosti předpínací síly bylo zjištěno, že se jedná o závislost s hyperbolickým průběhem.

Experimenty byly provedeny pro různé hustoty zákrutů svazku vláken.

Popsaným způsobem byl zjišťován maximální průhyb zakrouceného svazku vláken vetknutého na obou koncích a zatíženého uprostřed známou osamělou silou, Situace připomíná ohyb přímých prutů známý z nauky o pružnosti a pevnosti.

S ohledem na velikost deformací a materiálové vlastnosti vláken není zřejmě splněna základní podmínka za které byl odvozen zobecněný Hookův zákon $\vec{\sigma} = \overset{\times}{C} \vec{\epsilon}$ t.j. lineární vztah mezi tensorem napětí $\vec{\sigma}$ a tensorem deformací $\vec{\epsilon}$. Ani další základní podmínka umožňující zjednodušit tensor materiálových vlastností $\overset{\times}{C}$ a snížit počet nezávislých konstant C_{ijkl} z 81 na 2, t.j. podmínka symetrie materiálu, není u textilních vláken a přízí splněna. Pro rostlinnou celulozu a pro polyester, kde se často předpokládá kosočtvercová krystalická struktura /93/, je pro přesný popis nutno znát alespoň devět nezávislých materiálových konstant.

Přestože nejsou zcela splněny základní předpoklady (a zaměření práce nedovoluje zjišťovat jak velké chyby jejich zavedením vznikají) je zajímavá skutečnost, že experimentálně zjištěný průhyb svazku vláken v závislosti na napínající síle má tvar blízký hyperbole. Tento průběh závislosti deformace na silovém působení odpovídá známým vztahům z ohybu přímého prutu oboustranně vetknutého zatíženého uprostřed osamělou silou.

$$J_{max} = \frac{M_0}{E J_y} \quad (34)$$

kde $E J_y$ reprezentuje ohybovou tuhost prutu.

Osová síla napínající svazek vláken souvisí s ohybovou tuhostí svazku vláken, jak je prokázáno serií měření. Otázkou je, zda vzájemný vztah je funkční ve smyslu jednoznačného přiřazení určité velikosti ohybové tuhosti k určité velikosti napínající síly a zda lze závislost deformace na napínající síle vyjádřit vztahem

$$J_{max} = a + \frac{b}{|F_{os}|} \quad (35)$$

Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány.

Bylo provedeno proložení naměřených hodnot regresní rovnicí

$$J_{max} = a + \frac{b}{F_{os}}$$

pomocí substituce $1/F_{os} = X$ a proložení křivky lineární regresní rovnicí $J_{max} = a + b \cdot X$ metodou nejmenších čtverců.

Konkrétní tvary regresních rovnic a shodu s naměřenými hodnotami je vidět z grafu v příloze č. (17).

Určování závislosti maximálního průhybu svazku vláken na napínací síle bylo prováděno pro délku vzorku 40 mm a velikosti síly vyvolávající průhyb 100 /cN/ a 200 /cN/. Napínací síla byla měněna po 50 /cN/ od 50 do 500 /cN/. Pro každé uspořádání bylo měření desetkrát opakováno. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 18.

Provedená měření prokázala, že osově síly ve větvích zákrutového trojúhelníku, který je tvořen výhradně symetrickými dvojicemi, jsou stejně velké.

S ohledem na zjištěnou skutečnost, že pro rovnoměrné rozložení vláken na vstupu do svěru podávacích válečků se ustavují symetrické dvojice, je možno tento případ považovat za "ideální základní stav zákrutového trojúhelníku" a další stavy za jeho modifikace. V tomto smyslu jsou provedené práce považovány za první přiblížení k problematice.

Rovnoměrnost rozložení osových sil v jednotlivých vláknech lze podpořit i následující kinematickou úvahou s využitím zákona kontinuity.

Kinematické poměry na modelu jsou dány vnějšími silovými účinky a uspořádáním na vstupu. Pro uspořádání modelu to znamená :

- rychlostí podávacích a odtahovacích válců (považujeme jejich velikost za shodnou, což dobře odpovídá reálné situaci), obvodovou rychlostí udělenou zakroucené stužce zákrutotvorným ústrojím,
- vzdáleností jednotlivých vláken na vstupu do svěru podávacích válců od nositelky osy zakrouceného svazku.

Ze zákona kontinuity bezprostředně plyne, že vzhledem k souřadné soustavě tvořené Frenetovým trojhranem, jehož počátek se pohybuje s určitým bodem osy jednoho z vláken, má libovolný bod tohoto vlákna konstantní velikost složky rychlosti do směru tečny. Velikost této složky je dána velikostí obvodové rychlosti podávacích válečků. Na tuto rychlost je superponována složka obvodové rychlosti vznikající jako důsledek otáčení svazku pomocí krutného ústrojí. Velikost této složky je závislá na radiálním umístění příslušného vlákna ve svazku a na hustotě zákrutu ve sledovaném místě.

Pro případ zákrutového trojúhelníku složeného pouze ze symetrických dvojic se jednotlivá vlákna ve svazku ukládají tak, že trajektorie libovolného bodu osy jednoho vlákna je možno otočením a posunutím ztotožnit s trajektorií bodu osy kteréhokoliv jiného vlákna. Lze říci, že vlákno ve svazku opakuje s určitou periodou zcela přesně svůj průběh svazkem a že všechna vlákna mají tento průběh totožný pouze vzájemně posunutý a potočený.

Tuto myšlenku potvrzuje i pozorovaný fakt, že vlákna se na povrchu svazku pravidelně střídají a že všechna mají na povrchu stejný úhel stoupání šroubovice. Situace je zřejmá jako důsledek postupného skládání komplexnějších svazků z jednotlivých symetrických dvojic. Logickým důsledkem uvedené myšlenky je pravidelná radiální migrace vláken, kterou lze opět přímo vyvodit z faktu

postupného sdružování vláken do jednoduchých dvojic, těchto dvojic do komplexnějších symetrických dvojic až do celkového zakrouceného svazku. V této souvislosti je pozoruhodné porovnat fotografii uveřejněnou v /7/, která ukazuje zviditelněná vlákna chemického hedvábí v průřezu zakrouceného svazku, které vykazují zcela zřejmě pravidelnou radiální migraci.

Uvedené úvahy dále prohlubují uvedené tvrzení, že určité vlákno má konstantní velikost osově složky rychlosti. Bez ohledu na umístění vlákna v radiálním průřezu se v případě zákrutového trojúhelníku složeného ze symetrických dvojic ukládá do konstantní délky zakrouceného svazku konstantní délka jednotlivých vláken. Nevzniká tedy žádný důvod, aby některá vlákna zákrutového trojúhelníku byla napínána větší osovou silou než jiná.

Případ zákrutového trojúhelníku složeného čistě ze symetrických dvojic (t.j. z útvarů, u kterých nositelka osy každého svazku pólí úhel sevřenými větvemi, které tento svazek tvoří) je zdánlivě příliš vzdálený reálnému dění při předení staplových vláken, ale lze jej zřejmě považovat za limitní případ zákrutového trojúhelníku vznikající při zcela pravidelném rozložení homogenních vláken v ploché stužce před svěrem podávacích válců. V reálném případě vznikají zákonitě odchylky od popsaného chování v důsledku osově asymetrie průřezu svazků složených z menšího počtu jednotlivých vláken. Významnější odchylky vznikají při poruchách rovnoměrnosti ro-zložení vláken na vstupu, rozdílně se také chovají začátky a konce staplových vláken. Domnívám se však, že strukturu zakroucené stužky vznikající v zákrutovém trojúhelníku složeném ze symetrických dvojic lze použít pro základní představu o vazbě mezi strukturou příze a způsobem udělování zákrutů, na který se superponují poruchy vznikající jako důsledek nerovnoměrnosti rozložení vláken na vstupu do podávacích válců, vlivu počátků a konců staplových vláken a vlivu nehomogenity vláken z hlediska jejich geometrického tvaru a fyzikálně mechanických vlastností.

Strukturu zakrouceného svazku vláken tvořeného postupným spojováním symetrických dvojic lze určit následující úvahou:

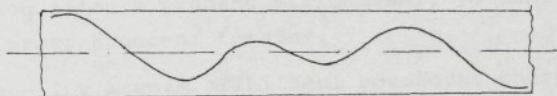
Měřením bylo potvrzeno, že jednotlivá vlákna jsou napínána stejnou osovou silou. To znamená, že bez ohledu na okamžitou radiální pozici vlákna v průřezu zakrouceného svazku je velikost jeho rychlosti ve směru podélné osy jedničného vlákna konstantní. Pozorováním byl potvrzen logický důsledek postupného spojování vláken do symetrických dvojic, t.j. pravidelné střídání jednotlivých vláken na povrchu zakrouceného svazku.

Z těchto podmínek lze odvodit uložení vlákna v zakrouceném svazku, viz obr. (25).

Zavedeme-li válcové souřadnice spojené se svazkem tak, že osa z je totožná s tečnou k ose svazku lze říci, že jednotlivá vlákna jsou orientována tak, že v každém řezu svazku rovinnou

kolmou k ose z mají jejich plochy podobnou velikost bez ohledu na jejich souřadnice r, φ - viz obr. 26.

Obr. 25



Obr. 26

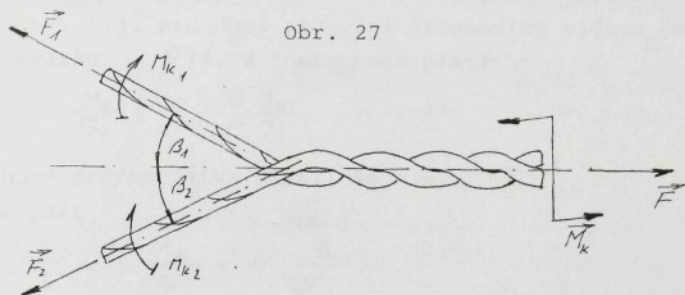


Tato představa odpovídá šroubovicovému modelu s pravidelnou migrací, kdy s rostoucí radiální souřadnicí roste úhel stoupání šroubovice, ale klesá úhel charakterizující radiální migraci.

Takto formulovaný model struktury zakroucené stužky zavádí radiální migraci jako přirozený důsledek zakrucování vláken v zákrutovém trojúhelníku a ne jako důsledek poruch, jak je radiální migrace chápána v běžně užívaném šroubovicovém modelu.

Z uložení vláken do svazku je možno vytvořit představu o silách, které jsou potřebné k deformaci vláken, t.j. k jejich

ohybu a krutu. Mechanismus tvorby zakroucené stužky v zákrutovém trojúhelníku složeném ze symetrických dvojic lze schematicky znázornit (viz obr. 27) jako vzájemné ovíjení dvou stejných vláknenných systémů - větví 1, 2.



Obr. 27

Odpor symetrické dvojice proti kroucení je dán součtem odporu jednotlivých větví při jejich deformaci ohybem a krutem do prostorové křivky, kterou zaujímají v zakrouceném svazku. Protože obě větve se ukládají do podobných křivek a jsou napínány stejnou silou v průběhu zakrucování, je také jejich podíl na odporu proti kroucení totožný.

Budeme-li v prvním přiblížení považovat chování vláken při zakrucování za srovnatelné s chováním elastických materiálů řídících se Hookovým zákonem, můžeme vyjádřit velikost potřebných momentů pro deformaci větve pomocí geometrických charakteristik a modulů pružnosti.

Vztahy známé z nauky o pružnosti a pevnosti:

$$M_k = \frac{\varphi}{\chi} G J_k \qquad M_o = \frac{1}{r} E_o J_o$$

Můžeme přepsat do tvaru

$$M_{k\text{VĚTVĚ}} = 2\pi Z_{\text{VĚTVĚ}} G J_k \qquad (36)$$

$$M_{o\text{VĚTVĚ}} = k E_o J_o = \frac{(2\pi Z_{\text{VĚTVĚ}})^2 r}{(2\pi r Z_{\text{VĚTVĚ}})^2 + 1} E_o J_o \qquad (37)$$

Poměr M_k / M_o dává představu o velikosti podílu ohybu a krutu větvi na celkovém odporu svazku proti kroucení.

(38)

S ohledem na přijaté předpoklady je $G J_k / E J_o = \text{konst.}$
a pro $M_k / M_o = f(Z)$ má vztah (38) minimum na pořadnici
 $Z = 1/2 \pi r$, t.j. pro úhel stoupání šroubovice vláken na
povrchu svazku $\pi/4$. V tomto bodě platí

$$\frac{M_k}{M_o} = 2 \frac{G J_k}{E J_o} \quad (39)$$

Pro kruhový průřez větvi platí, že $J_k / J_o = 2$
a můžeme psát

$$\frac{M_k}{M_o} = 4 \frac{G}{E} \quad (40)$$

Morton v /97/ uvádí naměřené hodnoty E , G pro polyesterová
i bavlněná vlákna. Z těchto údajů vyplývá, že $G/E = 4,5$.

Lze tedy tuto úvahu uzavřít konstatováním, že pro zakrucování
symetrických dvojic v mezích úměrnosti je podíl kroucení větví
na celkovém odporu proti zakrucování svazku nejméně šestnáckrát
větší než podíl jejich ohybu.

Odpor jednotlivých vláken proti zkroucení odpovídající
torzi jejich okamžité šroubovice lze vyjádřit vztahem

$$M_{k \text{ svazku}} = 2 \pi G \frac{\pi d^4}{32} \sum_{i=1}^N n_i Z_i \quad (41)$$

kde N ... je celkový počet radiálních vrstev vláken
 n_i ... je počet vláken v i -té radiální vrstvě ležících na
přibližně stejném poloměru
 Z_i ... je hustota zákrutů vláken vstupujících do i -té
radiální vrstvy

Pro svazek vláken složený výhradně ze symetrických dvojic,
tvořený šesti úplnými radiálními vrstvami, ve kterých jsou vlákna
uspořádána tak, že spojnice středů každých tří sousedních vláken
tvoří rovnostranný trojúhelník (svazek tedy obsahuje 91 jednič-
ných vláken a je tímto počtem blízko příze ze směsi PES/ba
o jemnosti 14,5 tex), lze ze vztahu (41) určit velikost kritic-
kého momentu potřebného k překonání odporu proti kroucení tako-

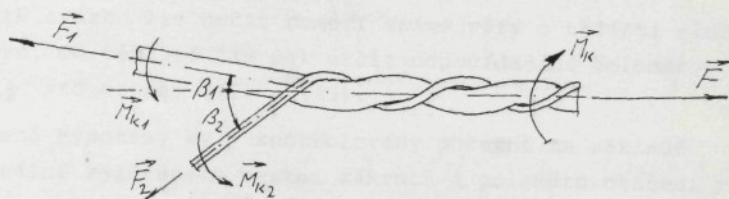
vého svazku

$$M_{lk} = 9,8 \cdot 10^{-5} [Nm]$$

V případě asymetrických dvojic se situace komplikuje.

Na základě pozorování chování asymetrických dvojic na modelu a jeho srovnávání s řezy svazků pod mikroskopem, viz fotografie v příloze 19, byla vyslovena následující hypotéza o příčinách a důsledcích odlišného chování oproti symetrickým dvojicím.

Obr. 28



Hustota zákrutů jednotlivých větví ve svazku je odlišná.

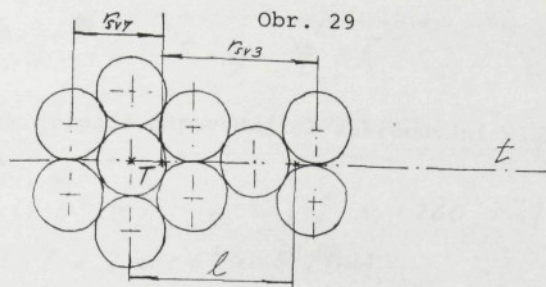
Hustota zákrutů ve větvi je, podobně jako u symetrické dvojice, dána torzí šroubovice, do které je větev svinuta ve svazku

$$Z_1 = \frac{Z_{sv1}}{(2\pi r_{sv1} Z_{sv1})^2 + 1} \quad (42)$$

$$Z_2 = \frac{Z_{sv2}}{(2\pi r_{sv2} Z_{sv2})^2 + 1} \quad (43)$$

Při stáčení větví do svazku nedochází již k dokonalé radiální migraci, což logicky plyne ze svíjení větví o různých počtech vláken.

Jako názorný příklad situace v průřezu svazku zvolme asymetrickou dvojici složenou ze 3 a 7 jedničných vláken.



Lze očekávat, že svazek se bude otáčet kolem těžiště celého průřezu svazku T. Těžiště průřezu větví lze uzvolených symetrických obrazců snadno určit.

Těžiště svazku lze určit pomocí známé věty o těžišti složených útvarů. Od těžiště lze pak určit odpovídající poloměry r_{v7} a r_{v3} pro vztahy (42) a (43).

Uvedené hypotézy byly kontrolovány početně na základě experimentálně zjištěných hustot zákrutů a poloměrů otáčení pro relativně uzavřené geometrické obrazce průřezů větví 3:7, 7:7, 3:19. Při srovnání vypočtených hodnot r_{v4} ze vztahů (42) a (43) a z tvarů průřezů byla odchylka v jednotkách procent. Tabulka hodnot je uvedena v příloze č. 20.

Pro případ asymetrických dvojic platí tedy obdobné úvahy o jejich odporu proti zakrucování jako u dvojic symetrických s tím rozdílem, že větve v asymetrické dvojici jsou napínány rozdílnými osovými silami $F_1 = F \cdot \cos \beta_1$, $F_2 = F \cdot \cos \beta_2$ a s ohledem na odlišnou hustotu zákrutů mají i odlišný odpor proti kroucení.

Souhrnně lze tedy o odporu vlákně stužky proti kroucení konstatovat, že je dán především odporem, který je nutno překonat při zakrucování jednotlivých vláken odpovídající torzí šroubovice do které se ve svazku ukládají.

Platnost výše uvedené úvahy pro reálný proces lze řádově ověřit srovnáním krutného momentu potřebného pro zakroucení stužky vláken a krutného momentu, který je schopen přenést na zakrucovanou stužku rotující proud vzduchu.

$$\vec{M}_k = \vec{r} \times c_r \frac{v_r^2}{2} \rho \vec{A}$$

v reálném případě odpovídající zakrucování vláken PES do příze 14,5 tex

$$r = 1,5 \cdot 10^{-3} [m] ; c_r = 1,2 [1] ; v_r = 260 [m/s] ; \rho = 1,3 [kg/m^3]$$

$$|\vec{A}| = l \cdot d \cdot 2 = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 2 [m^2]$$

$$|\vec{M}_k| = 2,3 \cdot 10^{-5} [Nm]$$

Tato hodnota dobře koresponduje s dříve určenou velikostí odporu stužky vláken složených z 91 vláken uložených v symetrických dvojicích ve výši $9,8 \cdot 10^{-5}$ /Nm/.

Uvedená hypotéza vede k závěru, že odpor vlákenné stužky proti kroucení je především závislý na počtu jedničných vláken, na velikosti a tvaru jejich průřezu a na modulu v krutu. Podstatně slabší bude závislost na velikosti osového napětí vláken a velmi malá závislost na geometrickém uspořádání vláken v zákrutovém trojúhelníku.

5.5 Teorie tvorby svazkové příze

Předcházející rozbor jednotlivých stěžejních dějů nezbytných pro tvorbu svazkové příze tvoří základ následující syntézy vyjádřené formou návrhu teorie tvorby svazkové příze.

Návaznost jednotlivých dílčích operací, kterými prochází jádro na manipulaci s volnými konci lze znázornit následujícím schematem.

Legenda:

Manipulace s vlákny v jádru

1. Zjemňování stužky vláken
2. Přejít ploché stužky do zakrouceného svazku v zákrutovém trojúhelníku

Manipulace s volnými konci

- A Tvorba volných konců jejich vyčleňováním ze stužky nebo svazku vláken
- B Kinematické napojování volných konců na zakroucený svazek vláken

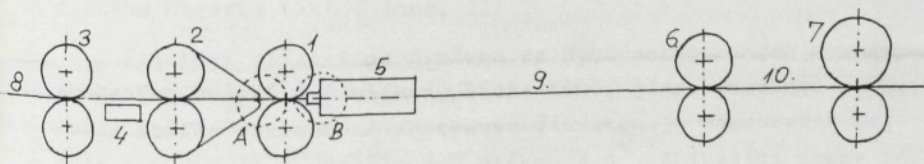
Teoreticky jsou možné i další varianty, ale uvedené jsou typické pro tvorbu svazkové příze z jedné soustavy vláken (t.j. bez samostatného zdroje celých vláken využitelných jako volné konce).

Z uvedeného systematického rozboru je zřejmé, že před svěrem podávacích válečků lze vytvářet volné konce snáze než v ostatních případech. Odklonění předních konců z relativně volné stuktury zjmenšované stužky převážně paralelních vláken je snazší, než jejich "vyčesávání" ze zakrouceného svazku. S ohledem na konečnou tuhost jedničných vláken vede odklání jejich předních konců v rovině svěru směrem od protahované stužky vláken k vtěsňování a lepšímu propojení zadních konců do stužky. Tato skutečnost omezuje úlet vláken a přináší výhodné podmínky při manipulaci s volnými konci v průběhu jejich napojování na zakroucený svazek.

Samotná stužka vláken může být ihned za svěrem podávacích válečků zakroucena na maximální hustotu zákrutů. To zvyšuje soudružnost vláken v citlivém úseku zákrutového trojúhelníku a vede k omezení přetrhů při předení.

Tento nový způsob tvorby svazkové příze, který, jak již bylo zmíněno, je chráněn autorským osvědčením /80/, je dále podrobně popsán pomocí schematického obrázku č. 30.

Obr. 30



Pramen staplových vláken 8 je veden do vstupního, třetího páru tříválečkového dvouřemínkového průtažného ústrojí 3. V zóně mezi válečky 2-3 je vlákenná stužka protahována. Současně je rozdělována děličem 4 na dvě stejné části. V zóně 1-2 dochází k výraznému zjemnění stužky vláken a současně jsou proudem vzduchu odkláněny přední konce krajních vláken stužky v rovině svěru o určitý ostrý úhel. Zóna "A", v které dochází k tvorbě volných konců, patří tak ke klíčovým místům tvorby svazkové příze.

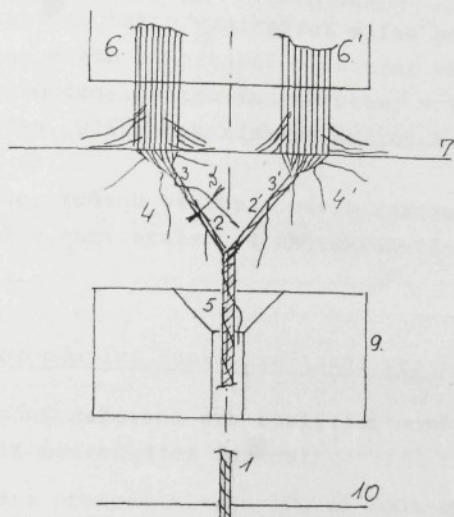
V zóně "B" jsou vlákna zkrucována formou zákrutového trojúhelníku do zakroucené stužky. Sací účinek ústí trysky 5 zajišťuje napojení volných konců vláken na zakroucenou stužku nebo částečně na zakrucující se vlákno v zákrutovém trojúhelníku. Tryska 6 uděluje stužce vláken hustotu zákrutu, jejíž velikost je dána rovnováhou mezi krutným momentem a odporem stužky proti kroucení. Dosažitelná hustota zákrutů je limitována frekvencí otáčení stužky v trysce. V oblasti před odtahovými válečky 6 se zakroucená stužka 9 postupně rozkrucuje a tím dochází k převíjení a utahování volných konců. Hotová svazková příze 10 je navíjena navíjecím ústrojím 7.

Rozbor zákrutového trojúhelníku a chování větví a svazku symetrické dvojice vedlo k myšlence využít rozdělení protahované stužky vláken ke změně struktury svazkové příze a tím ke zvýšení jejích fyzikálně mechanických vlastností.

Navržený nový způsob lze popsat dle následujícího schematického obrázku takto: (obr. 31)

Svazková příze 1 je tvořena ze dvou zakroucených a vzájemně seskaných svazků 2,2 vláken, které tvoří jádro svazkové příze 1. Každá stužka zakroucená zbytkovým zákrutem je samostatně ovínutá oviny 3,3 z odchýlených vláken 4,4. Zbývající úseky odchýlených vláken 4,4 jsou ovínuty v posledních ovinech 5,5 kolem obou zakroucených a seskaných stužek 2,2.

Obr.31



Svazková příze s touto strukturou je vyráběna takto:

Pramen staplových vláken je veden průtažným ústrojím, kde je jednak zjemněn protažením, jednak rozdělením do dvou stejně hmotných větví. Před stiskovou linií prvního páru průtažných válečků jsou z protahovaných stužek odchýleny části některých vláken od hlavního směru pohybu stužky. K odchýlení dochází silovým působením proudu vzduchu vznikajícího při rotaci válečků průtahu.

Takto odchýlené části vláken 4,4' zůstávají svými zadními konci zakotveny v původním svazku vláken 6,6'. Odchýlené konce vláken po projití svěrem 7 nejsou zachyceny zákrutovými trojúhelníky a neúčastní se proto zakroucení do svazků 2,2'. Jsou pak působením proudu vzduchu nasávaného do trubice 9 napínána pod určitým úhlem ν od větví 2,2' nebo z nich seskaného svazku 1. Protože jak větve 2,2', tak svazek 1 rotují kolem své osy, navíjejí se na ně volné konce 3,3', 5,5' pod úhlem ν . Při anulaci nepravého zákrutu jádra 1 se osy 3,3' které ovíjejí jednotlivé větve a jejich části 5,5', které ovíjejí celé jádro 1 dále utahují a tak zpevňují svazek vláken a vytvářejí svazkovou přízi, která je po projití stiskovou linií 10 odtahových válečků navíjena na koncový návin.

Struktura takto vznikající příze se vyznačuje tím, že je tvořena dvěma samostatně ovinutými větvemi, které jsou vzájemně zakrouceny zbytkovým zákrutem, ovíh^{ty} a staženy do celkového svazku. Příze tak získává částečně některé vlastnosti přízí skaných.

Příze, způsob výroby i návrh zařízení jsou přihlášeny k ochraně v osmi státech s nejrozvinutějším textilním strojírenstvím.

5.5.1 Rozhodující funkce zařízení pro realizaci nového způsobu

Strojní zařízení pro realizaci nově navrhovaného způsobu musí plnit následující funkce:

1. Zjemnění pramene vláken 100 až 200krát při zachování vysoké hmotové stejnoměrnosti toku vláken, event. rozdělení stužky vlákna na dvě stejné části.
2. Odklonění cca 15% předních konců vláken z okrajů protahované stužky před svěrem prvního páru průtahových válečků o ostrý úhel v rovině svěru tak, aby tato vlákna zůstala svými zadními konci zachycena ve stužce a byla podrobena přechodu do zakroucené stužky v zákrutovém trojúhelníku. Délka odkloněné části vláken na jedné straně musí zajistit dostatečný počet ovinů a na druhé straně musí zbývající délka vlákna zajistit dostatečné provázání vlákna s jádrem tvořící se příze.
3. Volný konec po uvolnění ze svěru prvního páru průtahových válečků je nutno proudem vzduchu přetočit do směru pohybu zakroucené stužky a udržovat jej v napnutém stavu pod takovým úhlem k ose zakroucené stužky, aby se na ni navíjel do směru opačného než je směr zákrutů této stužky. Velikost a směr síly, kterým jsou volné konce napínány, předurčuje hustotu a utažení ovinů na hotové přízi a tím i výrazně ovlivňuje její vlastnosti.
4. Většina vláken stužky, jak vystupuje ze svěru prvního páru průtažných válečků, je zachycena zákrutovým trojúhelníkem a tvoří zakroucenou stužku. Poměry v zákrutovém trojúhelníku a tím i struktura zakroucené stužky je dána rozmístěním vláken

v protahované stužce jak vystupují ze svěru prvního páru válečků a hustotou udělovaných zákrutů. Rozmístění vláken je určeno rovnoměrností použitého pramene a funkcí průtahového zařízení. Hustota zákrutů je dána pro danou stužku vláken proudovými poměry v zakrucovací trubici.

5. V oblasti mezi místem udělování zákrutů a svěrem odtahových válečků dochází k anulaci zákrutů zakroucené stužky a tím i k utahování ovinů kolem rozkrucujícího se jádra. Tato operace již nevyžaduje nutně aktivní vnější silové působení, ale nevhodnými vnějšími vlivy je zde možno vážně tvorbu příze narušit.
6. Odtah a navíjení hotové příze je operace běžně zvládnutá na všech bezvřetenových dopřádacích strojích.

5.6 Principiální možnost zajištění optimální funcce zařízení

Pro dosažení stability dopřádacího procesu a pro získání kvalitní příze je nutno zajistit optimální podmínky pro plnění funkcí uvedených v předešlém odstavci.

5.6.1 Zjemňování pramene

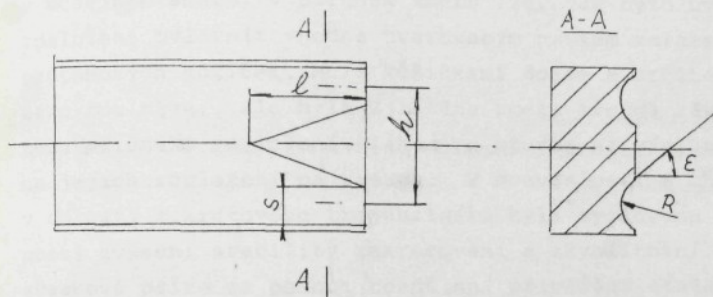
Při zjemňování pramene je možno použít běžné tříválečkové průtahové zařízení i když jeho zatížení dané součinem průtažného poměru a obvodové rychlosti prvního páru válečků, je o dva řády vyšší, než u prstencových strojů. Jak ukázaly zkoušky, postačí zvýšená pečlivost při nastavení vzdálenosti válečků, jejich přítlaku, zajištění rovnoměrného otáčení válečků a kůžiček a udržení malých odchylek od kruhovitosti válečků, aby z pramene o hmotové nestejnoměrnosti 4 % CV byla vypřádána příze s hmotovou nestejnoměrností 20 % CV pro zatížení průtahu 150 [m/min] . $150 = 22\,500$.

Nejcitlivější oblastí je nerovnoměrnost chodu kůžiček. Optimální nastavení přítlaku válečků a napínacích klíček bylo získáno na základě výsledků měření rovnoměrnosti chodu horní kůžičky. Měření bylo realizováno tak, že na okraji kůžičky bylo ve stejných vzdálenostech vytvořeno 29 otvorů, které byly vyplněny

suspensí vytvořenou z magnetické pásky. Pohyb těchto bodů byl snímán magnetofonovou hlavicí a zaznamenáván do časového rastru (viz příloha č. 21).

Rozdělení stužky vláken zjemňované v průtahu je možné realizovat vloženým prvkem - viz obrázek.

Obr. 32



Rozhodující pro odpovídající funkci tohoto prvku jsou tvar, rozměry a kvalita povrchu.

Pro testování schopnosti prvku rozdělovat stužku vláken, bylo zvoleno srovnání vlastností příze vyrobené ze dvou pramenů poloviční jemnosti, zavedených do prvku s vlastnostmi příze vyrobené z jednoho pramene rozděleného prvkem. Na základě řady zkoušek byl určen základní tvar, rozměry a kvalita povrchu prvku, vč. umístění prvku do průtočné zóny. Pro tvorbu volných konců a tvar zákrutového trojúhelníku je rozhodující vzdálenost středů větví jak vystupují z předního svěru kůžiček a z rozložení vláken v příčném průřezu větve.

Tyto vlastnosti stužky je možno ovlivnit vzdáleností kanálků h , šířkou kanálku s , poloměrem R a úhlem napojení ϵ na rozdělovací břit.

5.6.2 Tvorba volných konců odkloněním před svěrem prvního páru průtažných válečků

Tato zcela nová funkce probíhá současně se zjemňováním

stužky. Časové a místní oddělení těchto dvou funkcí je sice možné, ale za cenu zvýšení složitosti zařízení. Počet a délka odkloněných vláken závisí na rozložení vláken jak vystupují ze svěru kůžiček a na charakteru proudění vzduchu v oblasti mezi předním svěrem kůžiček a prvním párem průtahových válečků.

Rozložení vláken je možno ovlivnit jednak v příčném a jednak v podélném směru. V příčném směru lze, jak bylo uvedeno výše, rozložení ovlivnit vhodně tvarovaným prvkem zařazeným před pole průtahových kůžiček. Mezi kůžičkami dojde k určité změně příčného rozložení, ale byla zjištěna zcela zřejmá závislost charakteru příčného rozložení vláken ve stužce na výstupu z kůžiček na jejich rozložení na vstupu. V souvislosti s chováním vláken v oblasti zákrutového trojúhelníku byla vyslovena myšlenka o možnosti zvýšení stability zakrucování a zkvalitnění struktury svazkové příze za pomoci rozdělení příváděné stužky na dvě stejné části /81/.

Po orientačních zkouškách, jejichž cílem bylo vymezit "rozumný interval" rozdělení vláken, byla provedena řada zkoušek s dvěma typy prvků v různých rozměrech.

První typ "U" zajišťuje přibližně rovnoměrné rozložení příčné hustoty vláken. Byly prověřovány jednotlivé prvky líšící se šířkou spodní základny, poloměry napojení na svislé stěny pro různé výšky umístění spodní plochy vzhledem k rovině svěru válečků.

Druhý typ tvaru "W" zajišťuje rozdělení zjemňované stužky vláken do dvou proudů. Příčná hustota jednotlivých proudů je ovlivňována tvarem dna drážky a umístěním prvku vzhledem k rovině svěru válečků, jak bylo uvedeno v předchozím odstavci.

Z rozboru dějů uvedených v části 4.5 je zřejmé, že příčné rozložení vláken ve stužce před svěrem prvního páru průtahových válečků má výrazný vliv na množství a délku volných konců, ale také na tvar zákrutového trojúhelníku a tím i na způsob napojování volných konců na zakroucenou stužku. V reálném případě je nutné

uvažovat příčné rozložení vláken mezi kůžičkami a předními válečky i v souvislosti s tvarem proudového pole v této oblasti. příliš volná struktura v rychle proudícím vzduchu vede k úletu vláken a příliš kompaktní struktura v pomalejším proudě nezajistí dostatečné množství a délku odkloněných předních konců vláken.

Jednotlivé tvary prvků byly proto odzkoušovány v souvislosti s uspořádáním prostoru mezi kůžičkami a předními válečky.

Vhodnost konkrétního provedení prvků byla hodnocena na základě počtu přetrhů při předení, dosažené pevnosti příze, variace pevnosti, minimální hodnoty pevnosti, tažnosti a variace tažnosti. Dosahované výsledky pro různé prvky (jsou uvedeny v příloze č. 22) rozhodly o volbě tvaru a polohy prvku zajišťujícího příčné rozdělení stužky vláken před svěrem válečků.

Rozložení vláken v podélném směru je možno ovlivnit změnou dílčích průtažných poměrů, t.j. v případě tříválečkového ústrojí změnou rychlosti prostředních válečků s kůžičkami. Ve zkoušeném intervalu 3,5 a 12 % z rychlosti prvního páru došlo až u krajních hodnot k poklesu sledovaných parametrů - viz příloha č. 23. Lze předpokládat, že změna rozložení vláken v podélném směru neovlivní rozložení vláken mezi předním svěrem kůžiček a svěrem prvního páru průtažných válečků. Změny parametrů procesu a příze pak souvisí s rovnoměrností protahování stužky vláken, ale ne s tvorbou volných konců. Odklonění předních konců vláken na okraji ploché stužky vystupující ze svěru kůžiček způsobuje proud vzduchu v prostoru mezi svěrem kůžiček a svěrem prvního páru válečků.

Vzduch ulpívající na povrchu rotujících válečků 1, 2 je v místě jejich svěru odtlačován zpět a je příčinou proudění v oblasti mezi předním povrchem kůžiček 3,4 a povrchem válečků 1, 2 před svěrem. Jak bylo ukázáno v předchozí části měření, proudí vzduch převážně rovnoběžně s osami válečků "kanálem ABC" vytvořeným předním ohybem kůžiček a svěrem válečků. Pro dobrou funkci zařízení je nutné umístit kůžičky do takové vzdálenosti h_1 , h_2 od povrchu válečků, aby na jedné straně nedocházelo k přílišnému

omezení proudu vzduchu ulpívajícího na povrchu válečků a na druhé straně, aby tento proud vzduchu dokázal sejmout vlákna, která ulpívají na kůžičkách (a mohla by se stát zárodkem nábalu) a vrátit je do roviny svěru. Při tom je nutno počítat s tím, že pohybující se kůžičky nekopírují přesně tvar lišt 5, 6, ale vydouvají se. Velikost vydutí je dána ohybovou tuhostí kůžičky, jejím napětím, tvarem lišty, rychlostí pohybu kůžiček.

Proudění vzduchu v kanále ABC a tím i podmínky pro odklánění předních konců vláken, jsou dány pro určitou obvodovou rychlost válečků 1, 2 především vzdáleností kůžiček h_1, h_2 (z praktického hlediska je možnost zasunout kůžičky hlouběji do svěru zmenšením poloměru jejich ohybu je omezena vlastní tuhostí kůžiček).

Je možno podpořit proud vnějším zdrojem nebo naopak omezit ulpívající mezní vrstvu stěrkami. Proudové pole mezi předním svěrem kůžiček a předními válečky je možno formovat vhodně tvarovanými prvky vkládanými do tohoto prostoru.

Orientačně byly různé tvary těchto prvků odzkoušovány. V současné etapě není jednoznačně vyhodnocen jejich přínos v porovnání s regulací proudového pole nastavením vzdálenosti h_1, h_2 mezi kůžičkami a povrchem válečků.

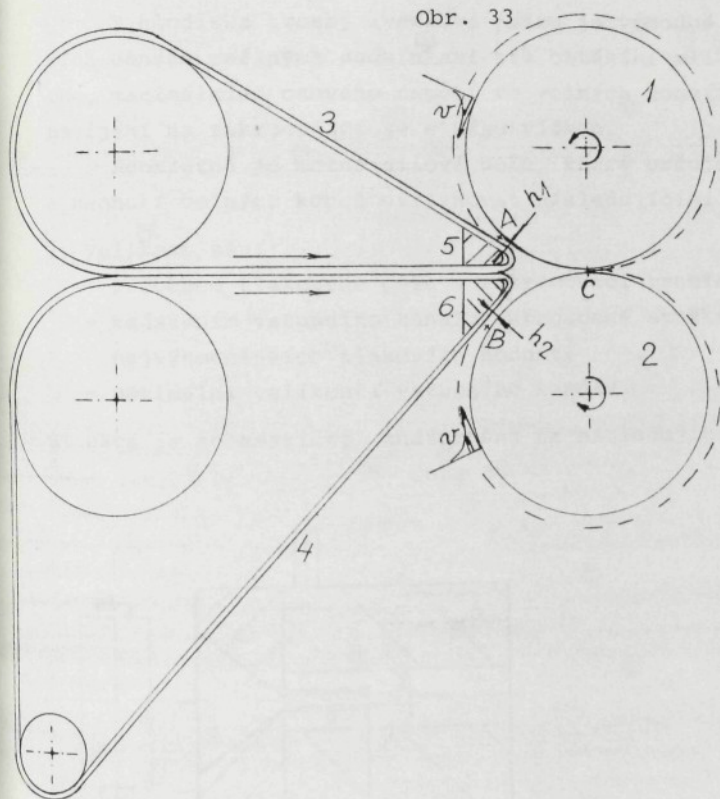
Důležitou roli hraje také skutečný bod styku obou kůžiček "S". Pro provoz bylo zjištěno, že nejlepší výsledky dává jeho umístění co nejblíže ke svěru válečků 1, 2, jak to dovoluje ohybová tuhost kůžiček.

Ve vymezeném intervalu vzdáleností h_1, h_2 od maximální vzdálenosti, kdy ještě jsou bezpečně snímána vlákna ulpívající na kůžičkách do minimálních vzdáleností bezpečně zajišťující, že se kůžičky nebudou dotýkat povrchu válečků, byla provedena řada zkoušek. Protože výsledky závisely i na poloze bodu svěru S, byly tyto zkoušky prováděny pro různé opěrky klícek, které určují místo sevření kůžiček. Na základě těchto zkoušek, viz příloha č. 24, je možno konstatovat, že nejlepší fyzikálně mechanické vlastnosti příze dává uspořádání s polohou bodu S nejblíže ke svěru válečků 1, 2. Z teoretického rozboru plyne, že velikost h_1 pak je výhodné

volit větší než h_2 . Pro tvorbu volných konců je potřeba, aby proud měl směr rovnoběžný s osou válečků. To vyžaduje symetrii obou proudů. Protože rýhovaný spodní váleček přináší větší množství vzduchu, je potřeba tento fakt kompenzovat podmínkou $h_1 > h_2$ tak, aby stužka vláken byla udržována co nejlépe v rovině svěru. Velikost h_1 pak volit v blízkosti maxima daného podmínkou snímání vláken ulpívajících na horní kůžičce.

Výsledky zkoušek (viž příloha 25) ukázaly, že s ohledem na praktickou možnost přesnosti nastavení rozměrů h_1 , h_2 jsou nejlepší výsledky dosahovány pro $h_2 \leq h_1 = 0,3 \text{ /mm/}$.

Obr. 33



5.6.3 Napojení volných konců na zakroucenou stužku

přední konce vláken, odkloněné v rovině svěru v oblasti mezi kůžičkami a prvním párem válečků průtahu, opustí svěrnou linii válečků aniž jsou zachyceny zákrutovým trojúhelníkem.

Pro jejich účelné napojení na zakroucenou stužku je nutno vytvořit odpovídající silové pole, které volné konce nasměruje a napíná způsobem rozebraným v části 4.3. S výhodou je v praxi možno využít sil vznikajících při obtékání vláken proudem vzduchu nasávaného do zakrucovací trubice. Proudové pole je závislé na tvaru ústí a velikosti sání.

Z hlediska tvorby svazkové příze je výhodné dosáhnout v mezích daných reálnými podmínkami při obtékání vláken proudem vzduchu, maximálního osového napětí ve volných koncích při jejich navíjení na zakrucující se stužku vláken.

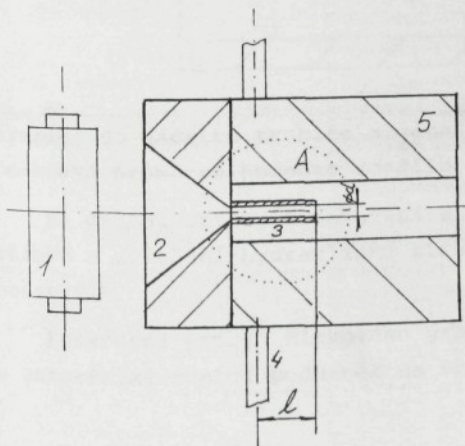
Konkrétně je možno silové pole, které určuje orientaci a napnutí volných konců ovlivňovat následujícími mechanismy:

1. Velikost sání:

- průběhem tlakového pole v zakrucovací trubici,
- zaústěním vstupního kanálu zakroucené stužky do místa nejvýhodnějších tlakových hodnot,
- optimální velikosti vstupního kanálu.

Situace je schematicky znázorněna na následujícím obrázku.

Obr. 34



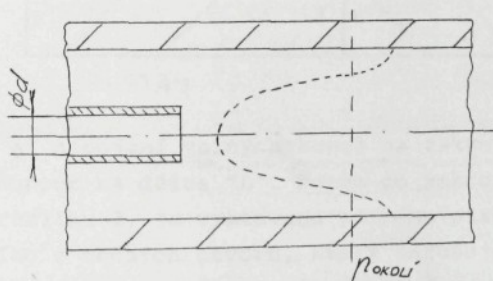
Optimalizaci proudových poměrů s cílem dosáhnout maximální sací schopnost proudy byla věnována značná pozornost. K tomuto účelu byla navržena, vyrobena a odzkoušována stavebnice umožňující sestavení různých geometrických variant prostoru "A". Vliv některých změn ukazuje příloha č. 26.

V části 4.5.2 uvedený teoretický rozbor zakrouceného proudění objasnil, že v zakrouceném proudě existuje výrazný tlakový gradient v radiálním směru jako důsledek odstředivé síly rotujícího proudy. Zviditelňovací metody a měření tlaků a teplot v ose trubice vedly k určení místa na ose trubice ve vzdálenosti "l", kde je pokles tlaku největší. Zde je jako "největší" pokles tlaku označena průměrná hodnota, měřená sondou o vnitřním průměru shodném s průměrem trubice 3, který určuje praktickou schopnost trubice sát vzduch z okolí.

Významnou geometrickou charakteristikou je průměr ϕd trubice 3.

Typický průběh tlakového gradientu (na obrázku znázorněno čárkovaně) je

obr. 35



vkreslen do náčrtku trubice a jasně ukazuje, že se zvětšováním ϕd klesá průměrná hodnota rozdílu tlaků a tím i nasávané množství.

Na druhou stranu zmenšování ϕd znamená zmenšení průtočného průřezu a zvětšení hydraulické ztráty a tím opět pokles nasávaného množství.

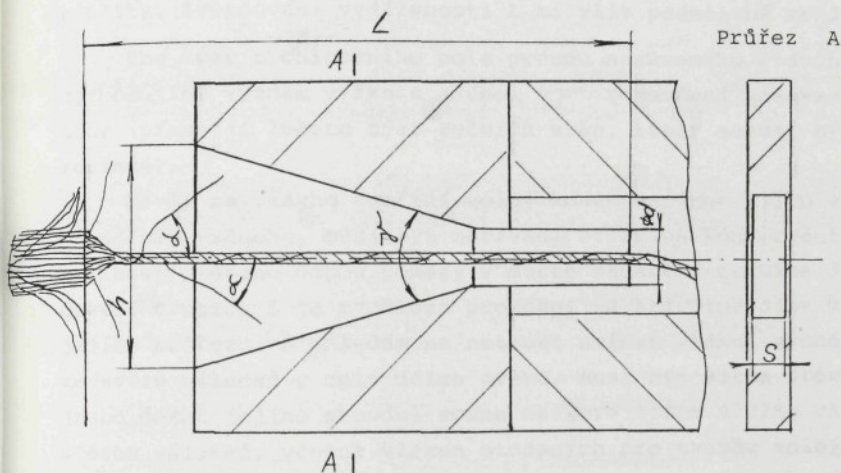
Konkrétní průběh tlakového gradientu $\frac{\partial p}{\partial r} = f(r, z,)$ je samozřejmě funkcí podmínek na vstupu vzduchu do trubice.

především tlaku vzduchu, tvaru tečného zaústění 4, polohy horního víka, velikosti mezikruží mezi vnitřní stěnou trubice 5 a vnější stěnou trubice 3 atd.

2. Rozložení proudu v hrdle 2 zakrucovací trubice:

Když volný konec opustí svěr válečků, je nutno jej přetočit v rovině svěru do směru, který svírá s osou zakroucené stužky ostrý úhel α viz obr. 36.

Obr. 36



Přetočení a napojení volných konců na zakroucenou stužku musí proběhnout na délce "L". Potom co zakroucená stužka opustí vnitřní trubičku 3, je vystavena přímému působení proudu vzduchu vytékajícího z tečných otvorů, který narušuje napojování volných konců a zřejmě i posouvá nedokonale uložené volné konce.

Vzdálenost "L" lze určit z kinematických podmínek.

$$L = \frac{l_{vk}}{[1 + (\pi \alpha_v Z)^2]^{1/2}} \quad (51)$$

kde l_{vk} je délka volného konce
 α_v průměr stužky vláken
 Z počet zákrutů svazku

Vztah (51) platí za předpokladu, že hustota zákrutů nezávisí na velikosti osové rychlosti stužky. Tento předpoklad plyne z předchozího rozboru, kde bylo ukázáno, že hustota zákrutů je dána

rovnováhou mezi krutným momentem, který je schopen vyvodit proud vzduchu a velikosti odporu proti kroucení stužky vláken, pokud je frekvence otáčení proudu vzduchu výrazně větší než frekvence otáčení zakroucené stužky kolem osy zakrucovací trubice.

Pro praktický případ vychází potřebná délka $L \cong 12$ mm. Na základě experimentů byla stanovena optimální vzdálenost 11,7 mm.

Zkoušky ukázaly výraznou závislost kvality příze na vzdálenosti L (viz příloha č. 27). Z výsledků je patrné, že zkrácení vzdálenosti L pod optimální hodnotu vede k prudkému zhoršení kvality. Zvětšování vzdálenosti L má vliv podstatně menší.

Pro tvar rychlostního pole proudu nasávaného vzduchu má rozhodující význam výška s a úhel γ rozevření nasávací štěrbin (přesněji řečeno tvar bočních stěn, který nemusí být rovinný).

Má-li se vlákno tvořící volný konec napínat silou vyvozenou prouděním vzduchu, musí být nasávací štěrbina konvergentní. Pro velikost průtahu danou poměry v místě zaústění trubice 3 do zakrucovací trubice 5 je rychlost proudění ve štěrbině dána velikostí jejího průřezu. S ohledem na nutnost snímat vlákna vycházející ze svěru válečků v celé délce svěru, musí být šířka štěrbin h (nebo dosah jejího proudu) rovna celkové šířce stužky vláken před svěrem válečků, včetně vláken otočených pro tvorbu volných konců. Volba výšky štěrbin s je omezena zdola. Nejmenší průtočná plocha nasávací štěrbin nesmí být menší než průtočná plocha trubičky 3. Další omezení v minimalizaci výšky s souvisí s velikostí jejího hydraulického odporu.

5.6.4 Tvorba zakrouceného svazku

Plochá stužka vycházející ze svěru válečků se v zákrutovém trojúhelníku formuje do zakrouceného svazku.

Jak vyplývá z rozboru v minulé kapitole, závisí vnitřní struktura zakrouceného svazku na hustotě zákrutů a na rozmístění, geometrickém a mechanickém stavu jednotlivých vláken před svěrem válečků.

Maximální hustota zákrutů umožňuje získat na finální svazkové přízi maximální utažení jádra oviny a tím i dosáhnout maximální pevnost příze.

Hustota zákrutů jako výsledek rovnováhy mezi velikostí krou-
tícího momentu, uděleného rotujícím proudem vzduchu a tuhostí
stužky, je dána pro určitou vláknennou stužku proudovými poměry
v trubici a velikostí osové síly napínající zakroucený svazek.

Struktura zakrouceného svazku je jednoznačně dána poměry
v zákrutovém trojúhelníku.

Velikost krou-
tícího momentu, který proud vzduchu je schopen
udělit zakrucovanému svazku vláken, závisí na velikosti ramene na
kterém působí síla a velikost síly závisí na konstrukčně ovlivnitel-
ných veličinách tak, že je přímo úměrná kvadrátu relativní rychlosti
obtékání a obtékané ploše dané průmětem svazku do roviny kolmé ke
směru relativní rychlosti.

Z rozboru proudových poměrů vyplynulo, že proud vzduchu vy-
tékající z tečně zaústěných trysek protéká v trubici po trajekto-
rii ve tvaru šroubovice aniž se podstatněji rozptýlí. Po zavedení
vláken pak dojde k výrazné změně proudění, charakterizované pře-
devším zrovnoměrněním proudového pole ve smyslu přiblížení se osové
symetrii podle podélné osy.

Maximální velikost složky obvodové rychlosti, ale i maximální
velikost celkové rychlosti, má proud v blízkosti stěny. Po prvním
setkání se zakrouceným svazkem se sevřený proud významně rozptýlí
a při opakovaném obtékání svazku je již schopen předávat stužce
podstatně menší moment hybnosti.

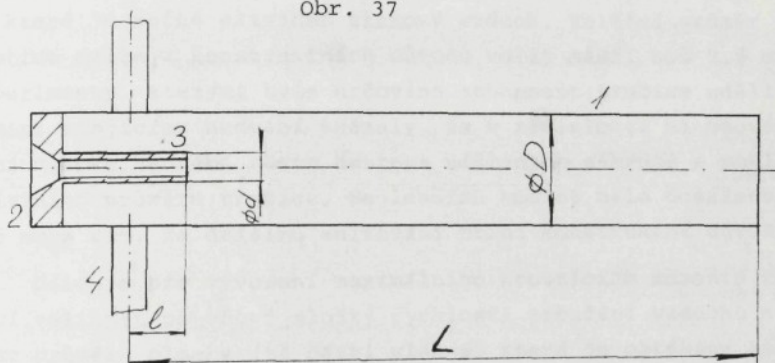
Pro vyslovení zásad konstrukce trysky je nutno posoudit prou-
dové poměry ve vazbě na podmínky zakrucování vláken.

K nejdůležitější podmínce pro zakrucování vláken patří
schopnost svazku absorbovat určitou hustotu zákrutů aniž by došlo
ke ztrátě stability zakrucovaného útvaru, která je provázena zvlně-
ním osy svazku až do dosažení nového stabilního stavu, při kterém

je osa zakrucovaného svazku sama svinuta do šroubovice (t.zv. zákruty druhého řádu). Stav, kdy by byl ovíjen volnými konci svazek zakroucený zákruty druhého řádu, vede k výraznému zesmyčkování příze. Charakter příze je pak pro běžné použití nevhodný. Maximální hustota zákrutů, kterou svazek může dosáhnout aniž dojde ke ztrátě jeho stability, závisí na velikosti osově síly, kterou je svazek napínán.

Základními konstrukčními charakteristikami zakrucovacího zařízení, které mají rozhodující vliv na zakroucení svazku, jsou (viz obr. 37)

Obr. 37



tvár a počet tečných vstupů 3, délka l a průměr ϕd zaváděcí trubky 3, délka L a charakteristický průměr ϕD trubice 1.

Tyto rozměry trubice byly testovány /měřicí metodou popsanou v části 4.5.3/ jejich schopností udělit určitý počet zákrutů stojícím vzorkům hedvábí, t.j. maximálním krutným momentem, který jsou schopny vyvodit v závislosti na velikosti napájecího tlaku

S ohledem na potřebu dosáhnout na svazku maximální hustotu zákrutů bylo nutno zatížit stužku vláken potřebnou osovou silou. Osová síla je především dána poměrem obvodových rychlostí podávacích a odtahových válečků zákrutové zóny. Potřebné předpětí svazku vláken určuje možnost jeho vyosení v trubici 1.

Pro volbu průměru $\varnothing D$ je tedy rozhodující splnění podmínky, aby na průměru, na který je možno vyosít při zakrucování svazek vláken, byla současně realizována i maximální velikost obvodové složky rychlosti proudění vzduchu.

Protože maximální rychlosti dosahuje proud v blízkosti stěny trubice, je možno říci, že průměr trubice $\varnothing D$ má být přibližně roven průměru šroubovice, do které se při udílení zákřutů složí svazek vláken. Průměr této šroubovice je především určen velikostí osově síly napínající svazek vláken.

S ohledem na potřebnou průchodnost zaváděcí trubky je nutno volit její rozměry. Ty určují i nejmenší možné rozměry trubice, do které je tečně přiváděn tlakový vzduch. Vnitřní průměr této trubice nelze z konstrukčních důvodů volit menší než 2,5 mm. Experimenty, kterými byla určována schopnost trubice udělit krutný moment stojícímu hedvábí ukázaly, že v závislosti na osovém napínání vzorku hedvábí roste hustota udělených zákřutů s poklesem vnitřního průměru trubice. Nejlepších hodnot bylo dosaženo pro 2,5 mm s tím, že dalšímu snižování brání konstrukční důvody.

Dále je pro vyvození maximálního kroutícího momentu rozhodující velikost obvodové složky rychlosti proudění vzduchu a velikost průmětu plochy (té části vlákna, která je obtékána sevřeným proudem) do roviny kolmé k obvodovému směru.

Tlakový vzduch do trubice proudí z tečně zaústěných tryssek. Pro případ, že poměr statických tlaků před tryskou a za ní je vyšší než kritický, můžeme předpokládat výtoku vzduchu z trysky rychlostí zvuku.

Protože vzduch je přiváděn s konstantní velikostí stavových veličin s tlakem výrazně vyšším, než odpovídá kritickému poměru tlaků, lze předpokládat, že z trysky vytéká proud vždy se stejnou velikostí rychlosti. Zvyšování velikosti napájecího tlaku vede k výtoku proudu vzduchu s větší měrnou hmotností a tím i s větší hybností.

Naměřené hodnoty hustoty zákřutů v závislosti na napájecím tlaku jsou uvedeny v příloze č. 28.

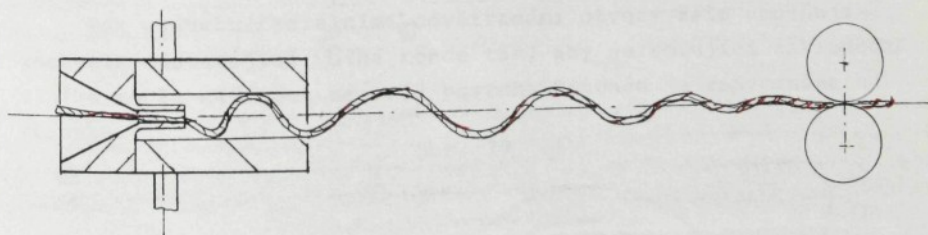
5.6.5 Utahování volných konců na rozkrucující se zakroucenou stužku

Na stužce zakroucené s maximální hustotou zákrutů jsou volné konce uloženy ve šroubovici s opačným směrem stoupání a s velkým úhlem stoupání. Dále jsou v této fázi poměrně málo utaženy na zakroucenou stužku. Tyto skutečnosti vedou k tomu, že vzájemná vazba mezi oviny reprezentovanými volnými konci a jádrem ve formě zakroucené stužky je volná a snadno narušitelná vnějšími vlivy. Při postupné anulaci zákrutů klesá velikost obvodové rychlosti jádra a to vede k utahování a zmenšování stoupání ovinů, které jsou kinematicky spojeny s povrchem stužky.

Průběh hustoty zákrutů byl sledován na filmových záznamech zakrucované předlohy složené ze dvou různobarevných hedvábí. Pro udělování zákrutů rotujícím proudem vzduchu, jak bylo analyzováno v části 4.3 a 4.4, je typické, že mezi zákrutovým trojúhelníkem a místem, kde proud vzduchu předává moment hybnosti stužce vláken, je hustota zákrutu zhruba konstantní a za tímto místem se postupně snižuje až do místa svěru odtahových válečků, kde je v ustáleném stavu nulová.

Situace je schematicky znázorněna na obr. 38.

Obr. 38



Zakroucená stužka 1 s volnými konci 2 se po průchodu trubicí 3 dostane v zakrucovací komoře 4 do proudu vzduchu vytékajícího z tečně zaústěných trysek 5. Směr proudění je takový, že způsobuje

odvinutí volných konců nedostatečně ovinutých kolem zakrouceného jádra. Nebezpečí tohoto negativního dopadu roste s nedokonalostí napojení volného konce, s velikostí silového působení a s časem pro který je tomuto působení volný konec vystaven.

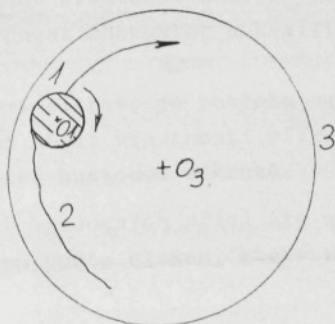
Jak bylo uvedeno v rozboru 5.4.3, dochází po prvním setkání rotujícího proudu vzduchu se zakroucenou stužkou k výraznému snížení schopnosti proudu předat při dalším setkání stužce moment hybnosti. Pro volné konce znamená rotující proud negativní ovlivňování. Z těchto důvodů byla zakrucovací komora opatřena soustavou radiálních otvorů 6. Počet a umístění otvorů bylo optimalizováno experimentálně v souvislosti s kvalitou výpředu - viz příloha č. 29. Byl zjišťován i vliv počtu těchto odvětracích otvorů na velikost osově síly napínající zakroucenou stužku mezi svěrem podávacích válečků a ústím zakrucovací trubice. Měřením tenzometrem "Rotschild" bylo zjištěno, že velikost osově síly ve stužce mírně roste se zmenšováním počtu odvětracích otvorů.

Tento fakt logicky plyne ze zkrácení délky na které proud vzduchu působí svoji axiální složkou na zakroucenou stužku vláken.

Měřením hustoty zákrutů, které ukázalo, že nedochází s odvětráváním k jeho poklesu, je nepřímým důkazem, že úvaha o malém účinku proudu jednou rozbitého při nárazu na stužku pro zakrucování je správná.

Tok vzduchu radiálními odvětracími otvory dále umožňuje zachytit odstávající volné konce tak, aby je rotující zakroucená stužka mohla navinout na svůj povrch. Situace je znázorněna na obrázku.

Obr. 39



zakroucená stužka 1 rotuje kolem osy O_3 trubice 3 a současně kolem vlastní osy O_1 v naznačených směrech. Dosud nenavinutý volný konec 2 je zachycen radiálním proudem a tím jsou vytvořeny podmínky pro jeho navinutí na stužku 1. Z tohoto důvodu souvisí počet a umístění radiálních otvorů nejen s pevností, ale také s chlupatostí příze.

V prostoru trubice 3 za radiálními otvory je proud vzduchu výrazně omezen. Zakroucená stužka v tomto prostoru i v oblasti mezi výtokem zakrucovací trubice a svěrem odtahových válečků balonuje s n -násobnou periodou. Toto balonování vzniká jako nucené kmitání vyvolané otáčením stužky pod účinkem rotujícího proudu vzduchu v trubici 3 a jeho frekvence a amplituda závisí na tuhosti stužky, délce zóny, velikosti osových síly ve stužce a odporu prostředí.

Charakter balonování, t.j. jeho násobnost, frekvence a velikost amplitudy, je v reálném případě spojena především s velikostí osových síly napínající stužku vláken. V této zóně je napínací síla dána především poměrem velikosti obvodové rychlosti podávacích a odtahových válečků.

Uvnitř trubice 3 mohou být nenavinuté části volných konců bržděny stěnou trubice a tak dodatečně navíjeny na balonující svazek, který se stále ještě v důsledku zakroucení otáčí kolem své vlastní osy.

5.7 Souhrn konstrukčních prvků zásadně ovlivňujících tvorbu svazkové příze

V této části jsou na základě předchozí analýzy uvedeny možnosti jak konstrukčně ovlivňovat charakter a kvalitu vyráběné příze.

Protože svazková příze nemá zákrut, je potřeba najít mechanismus, kterým by bylo možno měnit vlastnosti příze podobně jako u monotoně kroucených přízí hustotou zákrutů.

Hustotu zákrutů u monotoně kroucených přízí lze u svazkových přízí přirovnat k poměrnému počtu vláken, které tvoří oviny,

k stoupání šroubovice ovinů a k utažení ovinů na jádro. Ty podobně jako hustota zákrutů určují pevnost, tažnost a ohybovou tuhost příze.

Výčet konstrukčních možností jak tyto základní složky tvorby příze lze ovlivňovat je omezen na řešení, která se z dnešního pohledu znalostí jeví dostatečně účinná a přitom konstrukčně a výrobně jednoduchá.

Rozbor uvedený v předcházejících kapitolách svojí obecností umožňuje řešit konstrukci i jinými způsoby.

Počet vláken, které tvoří oviny, je určován četností a délkou konců vláken odkloněných v prostoru mezi předním svěrem kůžiček a svěrem podávacích válečků. Četnost a délka odkloněných konců vláken je dána rozložením hustoty vláknenné stužky vystupující ze svěru kůžiček a charakterem proudění v prostoru omezeném předním svěrem kůžiček a svěrem podávacích válečků.

Pro řízení počtu a délky volných konců lze tedy využít různé tvary prvků vkládaných do průtahu před kůžičky, dále pak nastavení vzdálenosti linie předního svěru kůžiček od svěru podávacích válečků a vzdálenosti horní a spodní kůžičky od povrchu odpovídajících válečků.

Stoupání šroubovice ovinů a velikost jejího utažení na jádro je dána hustotou zákrutů stužky, velikostí síly, která napíná volný konec při jeho napojování na zakroucenou stužku a úhlem, pod kterým se tento volný konec na stužku navíjí.

Hustotu zákrutů je možno ovlivňovat velikostí tlaku napájecího vzduchu a poměrem velikosti obvodových rychlostí podávacích a odtahových válečků. Velikost síly napínající volné konce je určována rychlostí proudění v sacím hrdle zakrucovací trubice, které lze pro určité konstrukční provedení sacího hrdla ovlivnit velikostí tlaku napájecího vzduchu a vzdáleností sacího hrdla od svěru podávacích válečků.

5.8 Výsledky dosahované při předení

Jako součást uvedené analýzy a syntézy byly prováděny výpředy na modelovém zařízení.

S ohledem na zvolený postup práce, t.j. proniknout toereticko empirickou cestou do podstaty tvorby svazkové příze a na základě znalostí příčinných souvislostí dovádět řešení do praktické aplikace, byly jednotlivé výpředy prováděny především s jednotnou předlohou - 65 % PES/35 % ba s česaným bavlněným podílem. Předkládán byl pramen posukovaný na jemnost 1,75 nebo 3,5 ktex. Předloha byla odebírána od jednoho výrobce n.p. Tepna Náchod závod O7. Výběr materiálu byl motivován technicko ekonomicky. Tvorba svazkové příze je principiálně předurčena pro oblast jemných a velmi jemných přízí. Odpor stužky vláken proti kroucení roste nejméně lineárně s počtem vláken v průřezu. Poloměr zakrouceného průřezu roste několika-násobně pomaleji. Tím vzniká nutnost pro dosažení potřebné hustoty zákrutů zvýšit spotřebu tlakového vzduchu. Náklady na výrobu potřebného tlakového vzduchu činí po nákladech na surovinu největší nákladovou položku. Z předběžných úvah vychází, že celkové náklady výroby na přízi 14,5 tex z uvedeného materiálu činí asi 52,60 Kčs, přičemž náklady na surovinu z toho tvoří 37,20 Kčs a náklady na výrobu tlakového vzduchu celkem 4,10 Kčs. V pořadí další nejvyšší provozní náklady činí režijní a doplňkové mzdy 1,15 Kčs.

Zvyšování hybnosti proudu vzduchu zvyšováním napájecího tlaku je shora omezeno cca na 0,6 MPa praktickou podmínkou, že tuto úroveň lze provozně zajistit jednostupňovými kompresory. Nutnost použít dvoustupňové kompresory a více dimenzované rozvody situaci dále technicky a ekonomicky komplikuje. Z těchto úvah plyne, že pro současnou úroveň znalostí tvorby svazkové příze je zajímavá oblast výpředu v rozmezí 10-20 tex. Při předpokládaném dalším rozvoji strojů na principu BD lze očekávat ztíženou situaci na trzích pro jemnosti okolo 20 tex. Byla proto volena pro výzkum a vývoj tohoto způsobu jemnost 14,5 tex. Materiálová skladba předlohy vyplynula ze skutečnosti, že zpracování 100 % bavlny činí značné technické problémy a 100 % PES, který lze technicky zpracovávat bez obtíží, má jen úzké praktické

použití. Zvolený kompromis v míchání 65/35 % odpovídá jednak technickým možnostem způsobu, jednak značnému praktickému rozšíření těchto přízí.

Na závěr jednotlivých dílčích etap řešení byly na 2-3 místných modelech vypředeny partie po cca 15 /kg/ příze, které byly určeny pro zpracování do tkanin. Souběžně byly zjišťovány jejich fyzikálně mechanické hodnoty.

Promítnutím většiny jednotlivých poznatků nashromážděných v průběhu řešení a uvedených v této zprávě, byla sestavena nejdříve dvě pracovní místa a na nich proveden výpřed s těmito výsledky:

Podrobně byl chod modelu sledován 5 pracovních dnů. Za tuto dobu bylo vypředeno 11,35 kg příze o průměrné jemnosti 14,7 tex. Za tuto dobu byly zaznamenány 4 přetrhy. Dva přetrhy jako důsledek ucpání trysky slupkou, dva způsobené nasátím odletků z průtahu. Přetrhovost na 1000 spřádních hodin byla 46,6. Celkově bylo při této zkoušce vypředeno 772 /km/ příze.

Z náhodně vybraných cívek byly určeny následující fyzikálně mechanické hodnoty příze:

- průměrná poměrná pevnost	0,141 N tex ⁻¹
- variace pevnosti	10,1 %
- průměrná tažnost	12,3 %

Nestejnomenost určená na přístroj ZAG-USTER model B vykazovala tyto hodnoty:

slabá místa	silná místa	nopky	CV/%
120	262	257	21,3

/hodnoceno v laboratoři SVÚT Liberec/.

Příze byla vypřádána s navíjecí rychlostí 150 m/min. z pramenové předlohy 1,75 ktex, směs 65/35 PES/ba. PES s jedničkou jemností 1,3 dtex, bavlna druh MII - česaná.

Tento výpřed byl zpracován v ÚZCHV Česká Třebová do tkaniny. Bylo zpracováno celkem 10,5 kg příze. Zpracování přineslo některé problémy plynoucí z odlišných vlastností příze i z nemožnosti

pro omezenost množství optimalizovat zpracovatelské podmínky. průběh zpracování rovněž kvantifikoval místa se sníženou pevností. Na 4 kg příze zpracované do osnovy připadly z tohoto důvodu 3 přetrhy, což reprezentuje 1 chybu na 90 /km/ příze. Při tkaní byla přetrhovost osnovy 0,29 přetrhu na 1000 nití a 10 000 prohozů.

Zpracování útku na pneumatickém stavu bylo zkomplikováno problémy se seřazením stavu na jemnost příze.

Po zavedení dvou nití vedle sebe do prohozního ústrojí byly tyto problémy odstraněny. K přetrhům příze zanášené do útku nedošlo. Problémy při zpracování činila také větší živost příze. Souhrnně lze konstatovat, že takto vyrobená příze přináší, s ohledem na odlišnost struktury, některé problémy při zpracování, ale že je v zásadě zpracovatelná na běžném strojním zařízení v textilním provozu.

Pro hodnocení dosažených výsledků jako logického důsledku úrovně poznání zákonitostí procesu tvorby svazkové příze, byly kromě těchto zjišťovány i další charakteristické hodnoty svazkové příze. Typickou odlišností v chování svazkové příze ve srovnání s přízemi monotóně kroucenými, je výskyt míst se sníženou pevností, aniž má v tomto místě příze zmenšený počet vláken v průřezu. Příčina výskytu těchto míst je v nedokonalém utažení ovinů na jádro. Z tohoto důvodu byla pro každý vzorek příze hodnocena nejen průměrná pevnost a její variace, ale také zaznamenávány nejnížší hodnoty pevnosti.

Pro hodnocení jednotlivých vzorků byl brán v úvahu graf rozložení pevnosti, který vznikne obtisknutím kuliček na automatickém přístroji při zjišťování pevnosti příze. Pro vybrané vzorky byly tyto hodnoty proloženy na počítači křivkou danou normálním rozdělením pro příslušnou střední hodnotu a rozptyl (viz příloha 30).

Odchyly od normality rozložení pevnostního přetrhu u jednotlivých vzorků vypovídají o rezervách procesu dopřádání. Proto, kromě dvou běžně užívaných statistických momentů charakterizujících

střední hodnotu a rozptyl, byly určovány i momenty charakterizující špičatost a šikmost rozložení (viz příloha č. 30).

S ohledem na nový charakter struktury svazkové příze byly pro odhad jejich vlastností při zpracování hodnoceny nejen dosažené koncové body pracovní křivky, t.j. pevnost a tažnost do přetrhu, ale průběh celé pracovní křivky.

Na přístroji INSTRON byly zaznamenány pracovní křivky příze vypřádané z předlohy odebírané ze stejné přípravárenské linky na prstencovém stroji a na stroji pro tryskové dopřádání svazkové příze. Křivky byly digitalizovány a přeneseny do paměti počítače. V dalším kroku byly tyto křivky vyneseny spolu se svou první derivací.

Průběh první derivace pracovní křivky umožňuje přesněji vyhodnotit schopnost příze vyrovnat se při následném zpracování s nerovnoměrností chodu strojních zařízení. Zřetelně ukazuje nárůst osově síly doprovázející vynucenou deformaci příze (viz příloha č. 31). Z tohoto pohledu vykazuje svazková příze příznivější průběh - vynucené protažení o stejnou délku jako u příze prstencové má za následek menší zatížení příze osovou silou.

Pro hlubší proniknutí do struktury svazkové příze byly podniknuty pokusy o zmapování průběhu vláken metodou VSOP, jak ji používá SVÚT Liberec. S ohledem na značnou pracnost přípravy a provedení těchto experimentů a na obtíže pramenící z dvojího charakteru uložení vláken (jádro, obal), bylo po úvodních experimentech rozhodnuto provést vyhodnocení struktury příze nejdříve metodou příčných řezů, v SVÚT označovanou názvem SECANT /94/.

Provedená analýza průběhu radiálního zaplnění v jednotlivých řezech ukázalo, že střední radiální průběh zaplnění dosahuje v osově oblasti hodnoty $\mu = 0,6$ s tím, že pokles této hodnoty směrem k povrchu příze je poměrně strmý. Toto zjištění naznačuje, že použitá technologie uspokojivým způsobem stlačuje a tím i zpevňuje vlákna do příze.

Struktura příze byla dále zkoumána metodou OMEST ve VÚB Ústí nad Orlicí /95/. Bylo zjištěno, že charakteristickým rysem

této svazkové příze je paralelní uspořádání vláken v jádru s jeho ovinutím po šroubovici jedním, dvěma nebo třemi vlákny. Ovinutí je velmi pevné, protože dochází k viditelnému stažení a zvlnění vnitřní vrstvy. Bylo zjištěno, že cca 74 % vláken tvoří jádro. Jejich uložení do jádra je dvojí. Úplně napřímená v celé své délce 32 %, zvlněná 42 %. Zvlnění má různě velkou amplitudu. Zbývajících 26 % vláken tvoří oviny. Některá vlákna jsou v jedné části své délky vlákny ovíjecími a druhou částí vytvářejí paralelní středovou vrstvu. Jiná vlákna ovíjí přízi celou svou délkou. Z nich některé ovíjejí jádro zpočátku ve tvaru prstýnku, který nejdříve ovíjí jádro pevně, postupně se oviny stávají volnějšími, případně je konec vlákna sesmyčkován.

Dosažené praktické výsledky vedly k rozhodnutí zkonstruovat a vyrobit osmimístný model, který se svým provedením blíží předpokládanému provedení stroje. Pohled na předoucí model je v příloze č. 32. Z provozu tohoto modelu byla partie příze předána na zpracování do tkanin a pletenin (viz ukázka v příloze č. 33).

6. Z á v ě r

V části 3 byl vytčen základní cíl této práce, který lze stručně formulovat:

"vytvořit teoretické a praktické podmínky pro realizaci optimálního způsobu tvorby svazkové příze".

Na základě průběhu prací a dosažených výsledků lze hodnocení rozložit do tří základních oblastí:

1. stupeň dosažení základního cíle,
2. zjištění nové poznatky v oblastech souvisejících s tvorbou svazkové příze,
3. vytčení klíčových úkolů pro další zkvalitňování způsobu předení a prohlubování znalostí s ním souvisejících.

6.1 Stupeň dosažení základního cíle

Na základě analýzy dostupných literárních informací a informací z elementárních zkoušek a pozorování, byla formulována pracovní hypotéza tvorby svazkové příze. Byly objasněny základní souvislosti mezi strukturou svazkové příze, způsobem její tvorby a strojními prvky, které tento způsob realizují. Problémy z oblasti textilně- technologické tak byly převedeny na problémy z oblasti mechaniky kontinua.

Takto získané znalosti byly zobecněny do teorie, z které vyplynul návrh nového způsobu tvorby svazkové příze, na který byly podány tři přihlášky vynálezu. Z nich 2 jsou chráněny autorským osvědčením a přihlášeny do SSSR, USA, NSR, Anglie, Japonska, Itálie a Švýcarska.

Navržený způsob tvorby svazkové příze byl realizován na modelu. Pro ověření pravdivosti formulovaných základních zákonitostí a výhodnosti navrženého řešení byly vypředeny vzorky příze 14,5 tex z pramene předlohy 65/36 PES/ba rychlostí 150 m/min.

příze byla vyhodnocována jednak laboratorně, jednak zpracováním do plošných textilií. Zkoušky prokázaly, že tvorbu svazkové příze je možno provozovat za velmi zajímavých technicko ekonomických podmínek.

Ve srovnání s provozem prstencových strojů, které bylo provedeno ve VÚB Ústí n.O. /96/, je vzhledem ke zvýšení výtěžnosti suroviny, zvýšení produktivity práce, snížení provozních ploch a zkrácení technologického postupu, dosahováno úspory při výrobě 1 kg příze ve výši 1,48 Kčs, což při průměrné výrobnosti stroje 81,27 tun za rok představuje průměrné úspory v hodnotě 122 tis. Kčs za rok z jednoho stroje.

Hodnocení fyzikálně mechanických vlastností příze a její zpracovatelnosti prokázalo, že ji lze zpracovávat v běžných textilních provozech bez mimořádných potíží.

Struktura svazkové příze a tím i uživatelské vlastnosti plošných textilií mají některé odlišnosti od výrobků z přízí monotoně kroucených. Otázku, v kterých sortimentech tyto odchylky nebudou na závažu, kde je bude možno překlenout změnou úprávkenských technologií a kde budou překážkou pro použití svazkových přízí, lze zodpovědět pouze na základě rozsáhlých a komplexních zkoušek hotových výrobků.

Souhrnně lze konstatovat, že byl vytvořen teoretický a experimentální základ pro výzkum a vývoj stroje pro tryskové předení.

6.2 Nové poznatky zjištěné při rozboru dílčích operací tvorby svazkové příze

Kromě nových poznatků o samotném způsobu tvorby svazkové příze, které se staly podkladem návrhu nového způsobu, byly v průběhu prací zjištěny nové podstatné skutečnosti z oblasti aplikované mechaniky.

1. Plochá stužka vláken vycházející ze svěru průtahových válečků je měněna zákrutem do přibližně kruhové stužky vláken

v útvaru zvaném zákrutový trojúhelník. Dosavadní představy o struktuře zákrutového trojúhelníku, publikované např. v /39/ jsou takové, že jednotlivá vlákna vystupují ze svěru a směřují do jednoho kruhového průřezu, kde se všechna spojují do zakroucené stužky.

v rámci této práce bylo ukázáno, že zákrutový trojúhelník je složen ze symetrických a asymetrických dvojic. Prostřednictvím těchto základních skladebných prvků přechází postupně plochá stužka vláken do zakroucené. Důsledkem této skutečnosti je model struktury zakroucené stužky odpovídající modelu ideální migrace. Dosavadní představy o struktuře zákrutového trojúhelníku vedly k závěrům, že krajová vlákna trojúhelníku jsou namáhána větší osovou silou, než vlákna blíže ke středu. Představa struktury zákrutového trojúhelníku ze symetrických dvojic vede k rovnoměrnému zatížení všech vláken konstantní osovou silou nezávisle na jejich poloze. Tento teoretický závěr byl ověřen i měřeními na modelu. Pro řešený případ tvorby svazkové příze vedla hlubší znalost konstrukce zákrutového trojúhelníku ke zcela novým pohledům na možnost konstrukce svazkové příze a na způsob manipulace s volnými konci.

2. Dále bylo v této práci dokázáno, že v rotujícím proudu vzduchu dochází k zakrucování svazku vláken v důsledku jeho vyosení do blízkosti stěny trubice. Svazek se otáčí kolem osy trubice. Rotující proud vzduchu mu předává při obtékání část svého momentu impulsu. Svazku vláken je za jednu otáčku kolem osy trubice udělen počet zákrutů z intervalu $\langle 0,1 \rangle$. O skutečném počtu zákrutů udělených za jednu otáčku kolem osy trubice rozhoduje velikost rozdílu mezi krutným momentem vyvozeným rotujícím proudem vzduchu a odporem svazku proti kroucení.

Odpor svazku proti kroucení je prakticky koncentrován do oblasti zákrutového trojúhelníku, kde dochází k deformaci tvaru jednotlivých vláken z přímky do prostorových křivek.

Zakrucování svazku vláken v rotujícím proudu vzduchu úzce souvisí s tvorbou svazkové příze. Při jiných realizacích

zákrutů je mechanismus odlišný. Zřejmě proto není v literatuře tento děj rozebírán a uvedené úvahy a fakta jsou původní. práce v této oblasti zásadně ovlivnily konstrukci zakrucovacího zařízení i volbu rozhodujících parametrů zařízení.

3. proudění tekutin ve válcové trubici s tečně zaústěnými tryskami je předmětem zájmu odborníků především z oblasti rozprašování paliva a při konstrukci t.zv. vírových trubic. Z velmi rozsáhlé literární rešerše vyplynulo, že přes rozdílné názory na chování proudového pole považují autoři rotující proud ve válcové trubici vznikající výtokem několika tečně zaústěných trysek za osově souměrný podle axiální osy. Osovou souměrnost předpokládají v určité vzdálenosti od vstupů rovnající se řádově jednotkám průměrů trubice. Experimentálně byl tento předpoklad zpochybněn. Přestože s ohledem na vybavenost pracoviště nebylo možno provést vyčerpávající experiment, vedou výsledky zviditelnění i měření tlaků k závěrům, že proud se udržuje dlouho (minimálně na dráze 20 d) ve tvaru sevřeném tak, jak vytéká z tečné trysky. Je tedy možno při vhodném umístění trysek mluvit o středové, ale ne o osově souměrnosti proudu. Tato skutečnost vážně zpochybňuje především publikované matematické modely, které vesměs zjednodušují Navier-Stokesovy nebo Reynoldsovy rovnice předpokladem o osově souměrnosti proudu. Dále pak tato skutečnost vede i k odlišnému pohledu na interpretaci naměřených údajů. V řešeném případě tvorby svazkové příze vedla k zásadním změnám konstrukce zakrucovací trubice.

6.3 Vytýčení klíčových úkolů pro další zkvalitnění způsobu předení a prohloubení získaných znalostí

Z hodnocení kvality příze vyplývá zvýšený počet vad, především silných míst a nopků. Porovnáme-li tuto skutečnost se zjištěním z rozboru struktury příze, kde je uvedeno, že část volných konců je tvořena celými vlákny, lze dospět k závěru, že právě shluky celých vláken, které se zachycují na zakroucené stužce, tvoří na hotové přízi zesílená místa a především nopky. V této oblasti byly provedeny některé práce v souvislosti s odzkoušováním možnosti plynulého napojování proudu ojednocených vláken na zakroucenou stužku. Tyto práce

vyústily do závěru, že ojednocená vlákna se na zakroucenou stužku zachycují přednostně v místě geometrické odlišnosti a tvoří tam shluky a ještě není znám mechanismus, který by tuto vadu odstranil. Pro tvorbu svazkové příze se tedy jeví jako nejschůdnější cesta omezit možnost úletu a znovu napojení celých vláken.

Dalším problémem je výskyt míst se sníženou pevností příze. Sledováním bylo zjištěno, že převážná část těchto míst je způsobena náhlým zvětšením počtu vláken v jádru příze. V průběhu tvorby svazkové příze to znamená zvýšení odporu proti kroucení v tomto úseku a tím snížení hustoty zákrutů a po rozkroucení není tento úsek utažen dostatečně oviny.

Zbývající část pevnostně slabých míst má svůj původ, podobně jako u prstencového předení, ve snížení počtu vláken v průřezu.

Odstávající konce ovinů způsobují větší chlupatost příze. Důvodem k neovinutí celého volného konce kolem jádra je především nedostatek času pro navinutí volného konce na zakroucenou stužku v prostoru mezi svěrem podávacích válečků a místem působení rotujícího proudu vzduchu na stužku a dále příliš intenzivní negativní působení rotujícího proudu vzduchu při udělování zákrutů stužce na volné konce na jejím povrchu.

Komplikace při tvorbě svazkových přízí tryskovým dopřádáním rostou s podílem bavlny v předloze. Důvody lze hledat jednak v namáhání průtahového zařízení, které v současné době ^{pravdě-} podobně nezvládá s dostatečnou hmotovou stejnoměrností dodávku ploché stužky, je-li tato plochá stužka složena z vláken o příliš rozdílné délce, jednak v radiálně neizotropních vlastnostech bavlny. Tvar bavlněného vlákna zřejmě ztěžuje manipulaci s ním, jako s volným koncem.

Z technicko ekonomického hodnocení podmínek předení vyplývá, že rozhodující položkou ovlivnitelnou při konstrukci stroje, je spotřeba tlakového vzduchu potřebného na zakrucování stužky vláken.

Další práce založené na znalosti proudového pole a možnosti jeho ovlivňování a na znalosti přenosu momentu impulzu z proudu

vzduchu na zakroucenou stužku by měly umožnit účelnější využití energie z proudu vzduchu a tím vést ke snížení jeho spotřeby.

Z hlediska prohloubení poznání lze za rozhodující považovat další systematický výzkum zákrutového trojúhelníku. Objasnění zákonitostí přechodu ploché stužky do zakrouceného svazku a souvislosti mezi zákrutovým trojúhelníkem a strukturou příze by mělo umožnit mnohem účinnější ovládnutí procesu tvorby nejen svazkové, ale jako vedlejší výsledek výzkumu, i prstencové příze.

Zaměření práce, snaha splnit především základní vytčený cíl, časové a materiální omezení vedly k tomu, že některé velmi zajímavé a důležité problematiky byly analyzovány pouze do té míry, aby jejich neznalost neznemožňovala realizaci nového způsobu tvorby svazkové příze. Z tohoto důvodu zůstává v práci mnoho dalších otevřených otázek, především nalezení experimentální metody a proměření proudového pole v zakrucovací trubici, přesnější kvantifikace proudu vzduchu v okolí svěru prvního páru průtažných válečků a systematické zhodnocení chování na jednom konci vetknutých jednotlivých vláken v proudu vzduchu.

Hlubší znalosti uvedených problémů napomohou nejen při zvládnutí tvorby svazkové příze, ale mohou být využity i při jiných textilních operacích.

Využití zjištění, že v zakrucovací trubici proudí vzduch po výtoku z tečné trysky v sevřeném tvaru a experimentální zmapování tohoto problému se vymyká nejen této práci, ale i poslání pracoviště. Lze se však domnívat, že práce v tomto směru by mohly významně ovlivnit pohled na celou třídu problémů zakrouceného proudění.

V oblasti hlubšího poznání mechaniky zákrutového trojúhelníku lze očekávat výrazné prohloubení znalosti struktury příze a její souvislosti s podmínkami předetím především na prstencovém dopřádacím stroji.

přehled použité literatury

- /1/ Kroupa P.: Chemická vlákna.
Zpráva o řešení úkolu plánu technického rozvoje
Elitex KVÚ Liberec 6/78
- /2/ Simon J.: Teorie předení, Liberec 1978
- /3/ Rohlena V. a kol.: Bezvřetenové předení, SNTL 1974
- /4/ Statistika ITMF - Počet dodávek vřeten a OE rotorů v roce 1980
s výhledem na rok 1981.
- /5/ Kolektiv: Studie technologie předení bavlny.
Interní zpráva Elitex KVÚ Liberec 4/79
- /6/ Kroupa P.: Svazková příze a způsob její výroby.
Zpráva k aspirantskému minimu, Liberec 1983
- /7/ Backer S., Yang W-L.: Mechanics of Texturing Termoplastic
Yarns.
Part I: Experimental Observations od Steady-
State Texturing
Text.Res. J 46, 599-610 (1976)
- /8/ Backer S., Yang W-L.: Mechanics of Texturing Termoplastic
Yarns
Part II: Experimental Observation of Transient
Behavior
Text.Res. J 46, 724-733 (1976)
- /9/ Brookstein D., Backer S.: Mechanics of Texturing Termoplastic
Yarns
Part V: Steady-State Mechanics of Draw Texturing
Text. Res. J. 47, 256-266 (1977)
- /10/ Brookstein D., Backer S.: Mechanics of Texturing Termoplastic
Yarns
Part VI: Transient Mechanics of Draw Texturing
Text.Res.J. 48, 198-218 (1978)
- /11/ Bell C.E., Backer S.: Mechanics of Texturing Termoplastic
Yarns
Part VII: Cyclic Behaviour During Pin Spindle
False Twist Texturing
Text.Res. J. 48, 722-732 (1978)
- /12/ Thwaites J.J.: Experiments on Transient Behavior for
Partielly-Driated Polyester Yarns
Text.Res. J. 48, 207-218 /1978)
- /13/ Thwaites J.J.: The Dynamics of the False Twist Process
Part I: The Process Surveyed
J. Text.Inst. 69, 269-275 (1978)
- /14/ Thwaites J.J.: The Dynamics of the False Twist Process
Part II: A Theoretical model
J. Text. Inst.69, 276-286 (1978)

- /15/ Malinowski M.: Podstawy teoretyczna nibyskrecań
Przegląd włokienniczy 9-10/1980, str. 505-508
- /16/ Simon J.: Teorie předení (Spřádací procesy II. díl)
skripta VSST (1978) str. 156-165
- /17/ Ursíny P.: Teorie předení II
skripta VSST (1980) str. 177-182
- /18/ Hearle J.W.S.: The mechanics of twisted yarns
Journal Textile Institute 1958, Vo 49,
p. T 389 - T 408
- /19/ J.J. Mertons: The Torque in highly twisted Nylono monofilaments
Journal Textile Institute 1954, Vo 50,
No 1, p. T70 - T 82
- /20/ Hearle J.W.S, El-Behery, Thakur: The mechanics of twisted yarns
Journal Textile Institute 1954, Vo 50,
p. T 83- T 111
- /21/ Hearle J.W.S, El-Behery, Thakur: The mechanics of twisted yarns
Journal Textile Institute 1954, Vo 51
p. T 299 - T 316
- /22/ Hearle J.W.S, El-Behery, Thakur: The mechanics of twisted yarns
Journal Textile Institute 1961, Vo 51,
p. T 197 - T 220
- /23/ Treloar, Hearle - Letter to the Editor. The mechanics of
twistless yarns
Journal Textile Institute 1962, Vo 53
p. T 446 - T 448
- /24/ Postl, Burton, Chaikhin: The torque in twisted single yarns
Journal Textile Institute 1966, Vo 55,
p. T 448 - T 461
- /25/ Marko: Tvarování nepravým zákrutem - geometrie kroucení.
Výzkumná zpráva str.ú. METVAR, VSST 1968.
- /26/ Hearle, Grosberg, Backer: Structural Mechanics of Fiber,
Yarns and Fabrics
J. Wiley and Sons, Inc. 1969
Wiley Interscience USA
- /27/ Marko: Tvarování nepravým zákrutem - teorie tvarovacího
procesu
Výzkumná zpráva st.ú. METVAR - VSST 1970
- /28/ Lünenschloss, Kirschbaum: Ein neues Verfahren zur Messung des
Torsionsmomentes beim ...
Mitteilungen aus der R.W. Technischen
Hochschule Aachen, Band 23, 1974

- /29/ Huong, Funk: The Theory of extension of elastic continuous filament yarns
Text. Res. Journal No 1, 1975, p. 14-24
- /30/ Dhingra, Postle: The Measurement of Torque in Continuous-filament yarns
Part I: Experimental techniques
Journal Textile Institute, Vol 65, No 3, 1974, p. 126-132
- /31/ Dhingra, Postle: The Measurement of Torque in Continuous-filament yarns
Part II: The Effect of Yarn Tension
Journal Textile Institute, Vol 65, No 4, 1974, p. 171-181
- /32/ Brookstein, Bocker: Mechanics of Texturing Thermoplastic Yarns
Part III: Experimental Observations of Torsional Behavior of the Texturing Threadline for Pre-Drawn PET Yarns
Text. Res. Journal. 27 (1976) p. 802-809
- /33/ Thwaites J.J.: Mechanics of Texturing Thermoplastic Yarns
Part IV: The Origin and Significance of the Torsional Behavior of the False-Twist Threadline
Text. Res. Journal 47 (1976) p. 886-892
- /34/ Cannon C.G.: Filament Deformations in Simultaneous Draw-Texturing by the False-Twist Method
Journal Textile Institute, 1979, Vol 70, No 6, p. 243-252
- /35/ Komori, Mahishima, Itoh: Mechanics of large deformation of twisted yarns
Text. Res. Journal 1980, No 9, Vol 50 p. 548-555
- /36/ Neckář E, Kovářová A.: Struktura příze.
Výbor z výzkumných prací SVÚT, svazek 3, 1980
- /37/ Lord P.R.: Spinning in the
1970 Merrow Publishing Co.
- /38/ Pavlov J.V.: O veličine ugla obtekanija v vytjažnom pribore prjadilnoj mašiny
Techn. tekst. prom. 2, 1967, str. 48-54.
- /39/ Pavlov J.V.: Vybor ugla obtekanija v vytjažnom pribore prjadilnoj mašiny
Techn. tekst. prom. 3, 1967, str. 42-47
- /40/ Kolacinski T.: Analiz trojkata skrecania
Przegląd Włokienniczy XXIV, 1/1970, str. 1-4

- /41/ Schwabe B.: Ermittlung der Drehungen von Fäden auf Schraubenhabhnen
Textiltechnik 23 (1973) 1, str. 42-47
- /42/ Schwabe B.: Probleme der Fadendrehungen und Mechanik von V-Garnen
Textiltechnik 25 (1975) 7, str. 416-420
- /43/ Muras K.: Sirospun nowy system produkcji przedzy dwójnej.
Technik Wlokienniczy XXXII, 1983, 6, str. 172-173
- /44/ Tohuro K., Mechanism od Fiber Separation
Part III: Air Drag Properties of Fibres
J.Text.Mach. Soc. Japan Vo 15, No 5
Oct. 1969, p. 198-199
- /45/ Lange G., Renter K., Sorembe K.: Messung der Fasergeschwindigkeit in einem Luftstrom
Deutsche Textil Technik 22, Marz 1972, p.151-159
- /46/ Lünenschloss J., Coll-Tortosa L.: Verfahren zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit
Melliand Textilberiche Inf. 6/1973
p. 570-574
- /47/ Kašpárek J., Dídek S.: Issledovane charakteristik transportirovki volokon posle diskretizacii lenty str. 45-62
Věda a výzkum v textilním průmyslu
Sborník XV, 1974.
- /48/ Horikowa A., Yoido O., Itomi M.:
The Tensile Strenght of Fiber Bundles in Longitudinal Air Flow
Journal Text. Mach.Soc. Japan, Vo 22, No 1, January 1976, p. 24
- /49/ Lange G., Fasertransport in Luftstrom von Auflösevorrichtungen für das OE-Spinnen
Textiltechnik 27, Dezember 1977
str. 752-760
- /50/ Pavlov G.G.: Vlijanie aerodinamičeskoj poduški na natjaženie niti v pnevmoprjadenii
VŮZ Technologia text. promyšlenosti 4/1979, str. 83-86.
- Pavlov G.G.: Količestvenaja ocenka vlijania aerodinamičeskoj poduški na natjaženie prjaži v pnevmoprjadenii
VŮZ Technologia text. promyšlenosti 5/1979
str. 80-82.
- /51/ Pavlov G.G. Aerodinamičeskoje osnovy bezvretennyh sposobov prjadenija, Moskva 1982

- /52/ Radom C.: Stosowanie powietrznych kanalow šrubowych.
Instytut wlokinienictwa XXVII, 1979.
Str. 172-179.
- /53/ Gould J. Smith F.S.: Air Drag on Synthetic-Fibre Textile
Monofilaments and Yarns in Axial Flow at
Speeds of up + 100 Metres per Second
J. Text. Ins. 1980, No 1, p. 38-49
- /54/ Dídek S., Fajt L.: Teoreticko experimentální výzkum dopravního
kanálu pro delší vlákna vlnařského typu.
Textil 4/1981, str. 122-125
- /55/ Blaško M.: Naváděcí zařízení
č. úk. 5303000, Elitex Ústí n.O. 1972
- /56/ Pavlov G.G.: Aerodinamičeskije osnovy bezvretennyh sposobov
prjadenija
Moskva 1982
- /57/ Pilipenko V.A.: Pneumatičeskije mechanizmy pokladyvanija niti.
Moskva 1977
- /58/ Achmedov R.B.: Aerodinamika zakručenoj strui
Moskva Eurog-za 1977
- /59/ Formanová I.: Vírové trubice
Lit. rešerše č. OTVSF/5/88
ÚVTEI-STK 1982
- /60/ Stuna J.: Vírová trubice
Lit. rešerše R 1053
SVŮSS Praha - dokumentační archiv 1981
- /61/ Betčelor Dž.: Uvedenie v dinamiku židkosti, s. 670-694,
Moskva 1979
- /62/ Knys J.A.: Effect od self oscillations on the hydraulic
resistance at a vortex tube
Inženerno fizičeskij žurnal 37, 1979/VII,
s. 59-64
- /63/ Deissler R.G.: Analysis of flow and energy separation in
turbulent vortex
J. Heat and Mass Transfer 1, 1960.
č. 2-3, s. 173-191.
- /64/ Takahama J.: Study on Vortex Tubes
JSME Vol 17, No 108, June 1974, str. 740-747
- /65/ Takahama H.: Studies on Vortex Tubes
Jap. Soc. Mech. Eng. Vo 9, No 33, 1966,
p. 121 - 130
- /66/ Sibulkin M.: Unsteady, viscous, circular flow
J. Fluid Mech 11, 291-308, 1961 a
12, 148-158, 1961 b
10, 269-293, 1962 a

- /67/ Harnett J.P.: Experimental Study of the Velocity and Temperature Distribution in a High Velocity Vortex Type Flow
Trans. ASME 5, 79, No 4, p.751-758, 1957
- /68/ Coleman D.P.: Behavior of Solutions of the Navier-Stokes-Equations for a Complete Class of Three-Dimensional Viscous vortices
Proceedings of the 1960 Heat Transfer and Fluid Mechanics Institute
- /69/ Eichhörn H.: Eine Lösung des Geschwindigkeitsprofil und den Zustand des Gases im Wirbelrohr Experimentale Technik der Physik No 4, 1977, 25. Jahrgang
- /70/ Šukin V.V.: Struktura zakručenogo potoka v cylindričeskom kanale pri odnorodnom volokně
Inženerno-fyzičeskij žurnal, tom XXXVI, No 2, str. 243, 1979
- /71/ Keys J.J.: An Experimental study of Gas Dynamics in High Velocity Vortex Flow
Proceedings of the 1960 Heat Transfer and Fluid Mechanics Institute
- /72/ Tyndief Š.S.: Issledovanie vlijanija parametrov vchoda vichrevoj truby na skorost vraščeniye patoka
Izvestija vyššich učebnyh zavedenij
Mašinostrojenije 6/1980
- /73/ Dejč M.E.: Technická mechanika plynů
SNTL Praha 1967
- /74/ Tretjakov V.V., Jagodkin V.I.: Čislennce issledovanie laminarnogo zakručenogo tečenija v kolcevom kanale
IFŽ tom XXXIV, No 2., 1978, str. 272
- /75/ Tretjakov V.V., Jagodkin V.I.: Rasčetnoe issledovanie turbulentnogo zakručeno-
nogo tečenija v trube.
IFŽ tom XXXVII, No 2, 1979, str. 254
- /76/ Gosmān A.D. aj.: Heat and Mass Transfer in Recirculating Flows
Academic Press London 1969
- /77/ Hlavatý K.: Metodika zpracování disetačních prací
Interní materiál VŠP Praha
- /78/ Hrůza I.: Vědecký komunismus - základ politiky KSČ
Horizont 1980.
- /79/ Trapeznikov V.A.: Řízení výzkumu, vývoje a zavádění nové techniky.
"Svoboda" Praha 1979

- /80/ Kroupa. Šrámek, Fantl: Způsob výroby příze ze staplových vláken.
PV 3229-82, AO 231 818
- /81/ Kroupa, Šrámek, Fantl: Způsob výroby příze ze staplových vláken.
PV 7111-83
- /82/ Urbášek J.: Sledování rychlosti proudění vzduchu kolem podávacích válečků.
VŠST Praha - zpráva měření 1/1984
- /83/ Adámek K.: Měření na trysce "PENNS"
VŠST Liberec, KTH zpráva za rok 1980
č. Z-KEZ 233/80
- /84/ Řezníček R.: Vizualizační metody
- /85/ Früngel F.: Messung der dreidimensionalen Luftwirbelung nach dem sog. spark tracing Verfahren
VDI Berichte Nr 146, 1970
- /86/ Schlichting G.: Teorije pograničnogo sloja
Nauka, Moskva 1974
- /87/ Frene J.: A Study of Taylor Vortices
Disa Information No 17, Febr. 1975
- /88/ Holeša F.: Zviditeľnie a meranie rýchlostí prúdenia vo valcovej trubici Ø 3 mm s tangencialnymi vstupmi vzduchu
VŠDS Žilina 12/1983
- /89/ Čapek J.: Určenie súčiniteľa aerodynamického odporu vlákna v prúde vzduchu
VŠDS Žilina, 12/1981, č. HZ 73/3969/81
- /90/ Šesták J.: Přenosové jevy I. Přenos impulsu a tepla.
Skripta ČVUT Praha 1980
- /91/ Varga J.: Rozbor procesu zakrucování
Dipl. práce VŠST Liberec 1983
- /92/ Šimek L.: Silové poměry v zákrutovém trojúhelníku.
Diplomová práce VŠST Liberec 1984.
- /93/ Brdička Z.: Mechanika kontinua.
- /94/ Švehlová L., Neckář B.: Analýza struktury příze PENNS metodou Secant.
SVÚT zpráva č. FYZ-12-V/83

- /95/ Borovcová Ž.: Průzkumné hodnocení vnitřní a povrchové struktury svazkové příze TD.
- /96/ Odbor ekonomiky výzkumu VÚB: TER - Efektivnost tryskového doprřádacího stroje, ř. zprávy 202/84-A, VÚB 1984.
- /97/ Morton W.E.: Physical Properties of Textile Fibres; Manchester-London, The Text. Inst. 1962

Seznam příloh

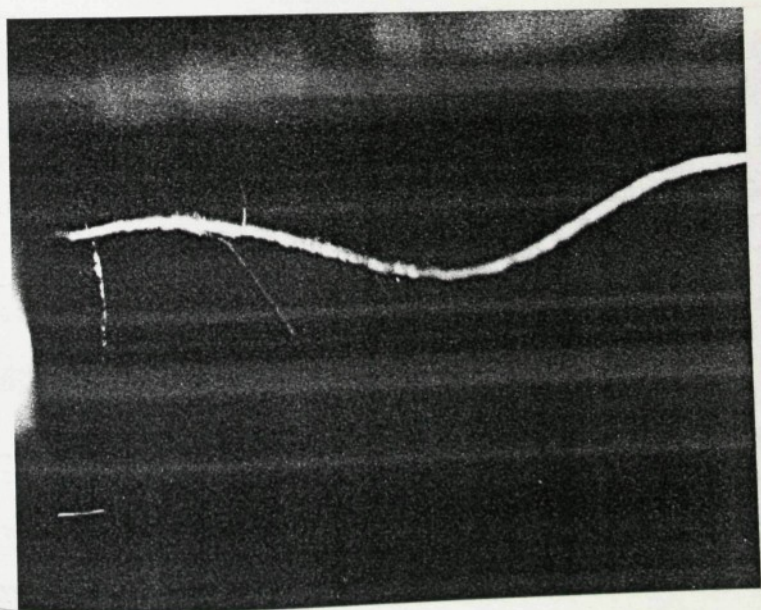
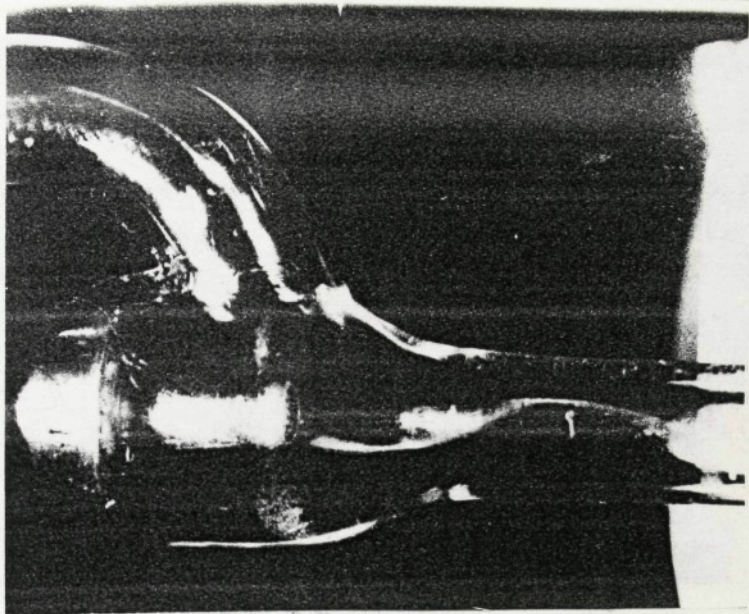
- příloha č. 1: Fotografie zakrouceného svazku vyoseného rotujícím proudem vzduchu ke stěně trubice.
- příloha č. 2: Fotografie zakrouceného svazku vláken z černé a bílé předlohy pro vyhodnocování hustoty zákrutů.
- příloha č. 3: Zviditelnění proudění v rovině souměrnosti svěru rotujících válečků s různou geometrií modelu předního svěru kůžiček.
- příloha č. 4: Fotografie proudění vyvolaného párem rotujících válečků zviditelněné metodou světelného řezu.
- příloha č. 5: Záznam pozorování pohybu zviditelňujících částic v okolí svěru rotujících válečků.
- příloha č. 6: Fotografie uspořádání měření a záznam obrazovky osciloskopu při měření rychlosti proudění v okolí svěru válečků aparaturou DISA.
- příloha č. 7: Rychlostní profily naměřené na zvětšeném modelu.
- příloha č. 8: Fotografie stopy přeskoků jiskry při zviditelnění radiálního profilu obvodové rychlosti proudění vzduchu ve válcové trubici.
- příloha č. 9: Zviditelnění proudění v trubici s tečně zaústěnými tryskami pomocí osově přísávaného hliníkového prášku.
- příloha č. 10: Fotografie stopy barviva na stěně trubice s tečně zaústěnými tryskami.
- příloha č. 11: Značkování rotujícího proudu vzduchu napříč uloženým žhaveným drátkem,

- příloha č. 12: Zviditelnění proudu vzduchu pomocí pohybu charakteristických částic.
- příloha č. 13: Zvidíte hění výtoku z tečně zaústěné trysky do válcové trubice.
- příloha č. 14: Záznam interakce čela proudu s volně visícím vláknem.
- příloha č. 15: Uspořádání modelu pro sledování poměrů v zákrutovém trojúhelníku.
- příloha č. 16: Uspořádání modelu pro zjišťování rozložení osových sil ve větvích zákrutového trojúhelníku.
- příloha č. 17: Závislost velikosti průhybu zakrouceného svazku vláken vetknutého na obou koncích do svěru a zatíženého uprostřed osamělou silou na velikosti předpětí svazku v osovém směru.
- příloha č. 18: Závislost maximálního průhybu zakrouceného svazku vláken na osově napínací síle.
- příloha č. 19: Ukázka mikrofotografie řezu zakrouceného svazku vláken.
- Příloha č. 20: Srovnání hodnot poloměrů otáčení u asymetrických dvojic určených z naměřených hustot zákrutů a z rozboru řezů zakrouceného svazku vláken.
- Příloha č. 21: Tabulka naměřených hodnot rovnoměrnosti chodu kůžičky průtahového zařízení.
- Příloha č. 22: Vliv příčného rozložení vláken v průtahu na kvalitu výpředu.
- Příloha č. 23: Vliv podélného rozložení vláken v průtahu na kvalitu výpředu.
- Příloha č. 24: Vliv polohy předního svěru kůžiček na kvalitu výpředu.

- příloha č. 25: Vliv vzdálenosti kůžíček od povrchu podávacích válečků.
- příloha č. 26: Vliv tvaru vzduchových trubíc na kvalitu výpředu.
- příloha č. 27: Vliv vzdálenosti trubice od svěru válečků na kvalitu výpředu.
- příloha č. 28: Závislost hustoty zákrutů na napájecím tlaku vzduchu.
- příloha č. 29: Vliv odvětracích otvorů na kvalitu výpředu.
- příloha č. 30: Hodnocení pevnosti příze. Rozbor histogramu trhacího přístroje.
- příloha č. 31: Pracovní křivky příze a jejich první derivace.
- příloha č. 32: Pohled na model stroje
- příloha č. 33: Vzorek tkaniny z příze vyrobené na modelu stroje.

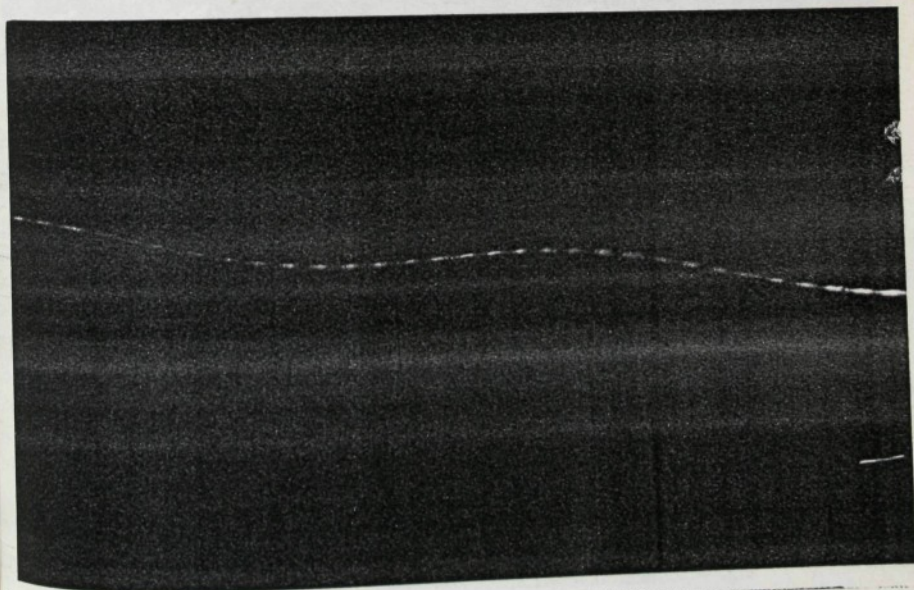
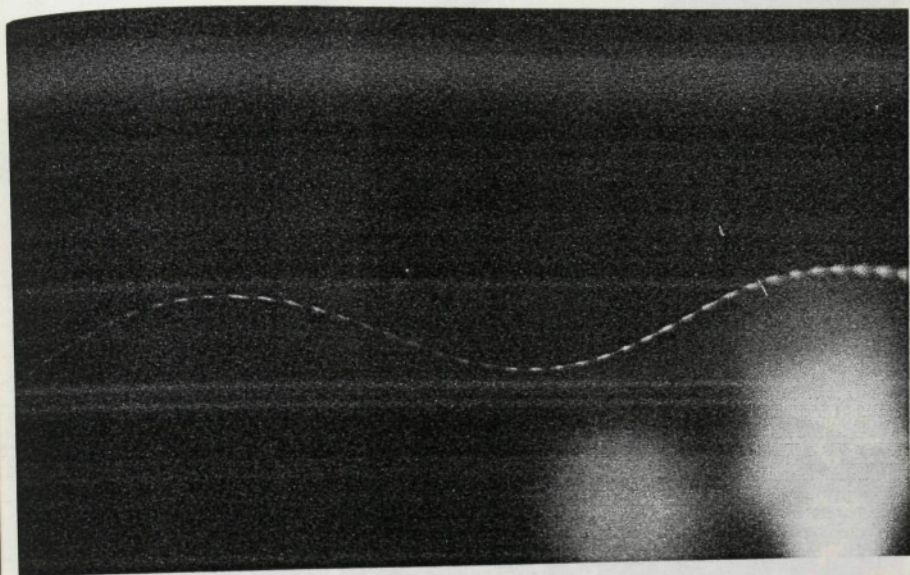
Příloha č. 1

fotografie zakrouceného svazku vyoseného rotujícím proudem
vzduchu ke stěně trubice.

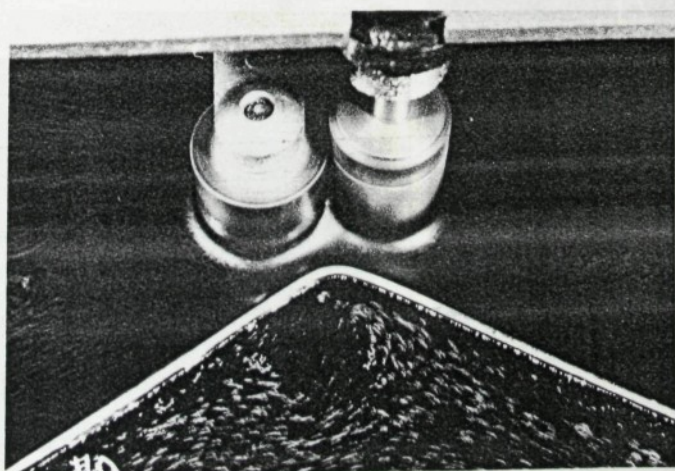
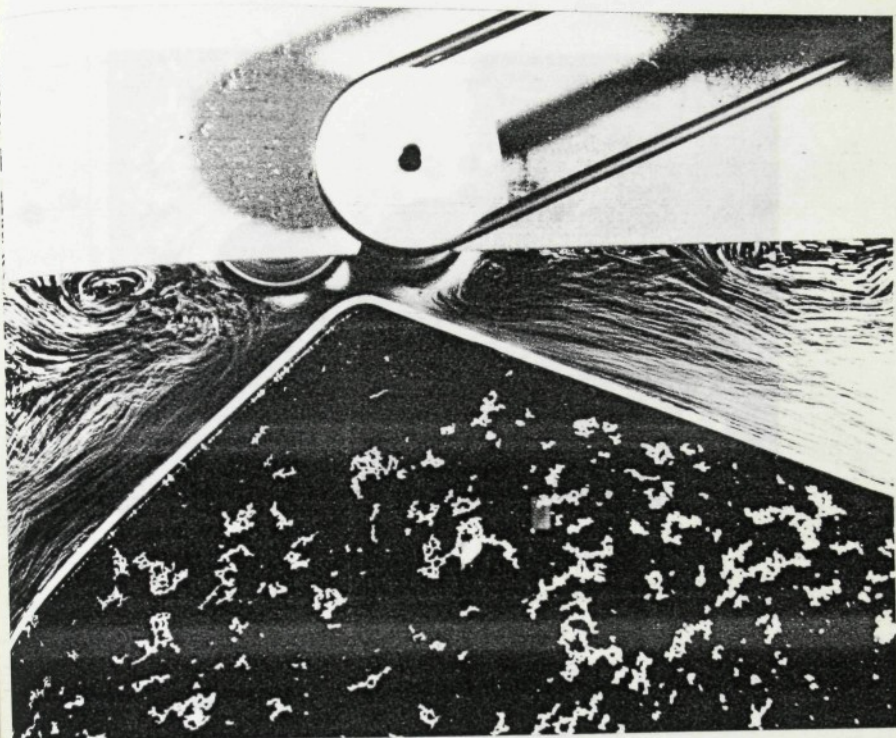


Příloha č. 2

Fotografie zakrouceného svazku vláken z černé a bílé předlohy
pro vyhodnocování hustoty zákrutů v různých místech zákrutové zóny.

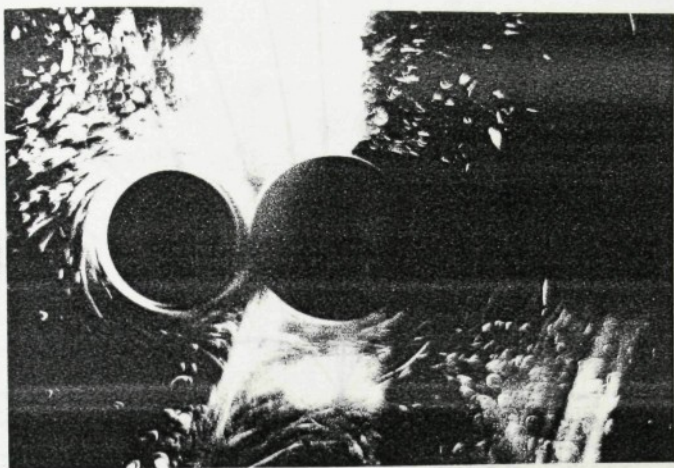


zviditelnění proudění v rovině souměrnosti svěru rotujících válečků
s různou geometrií modelu předního svěru kůžiček.



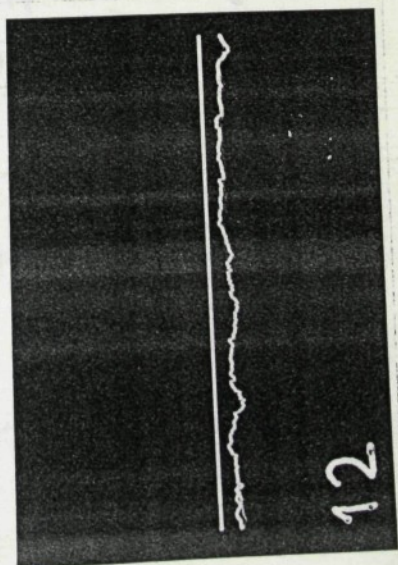
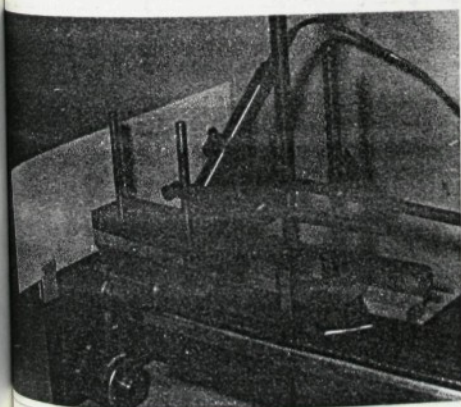
Příloha č. 4

Fotografie proudění vyvolaného párem rotujících válečků zviditelněné metodou světelného řezu.

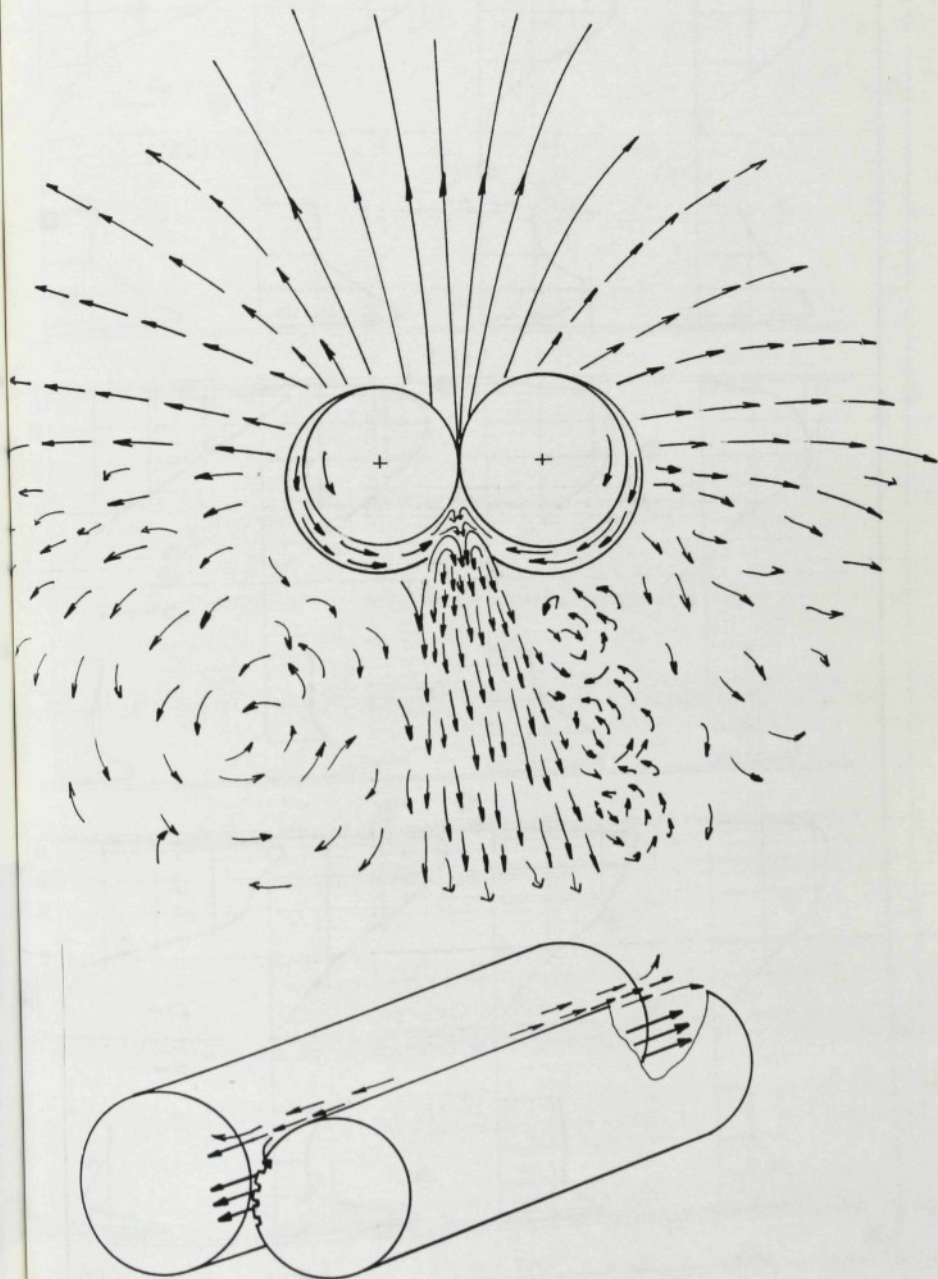


Příloha č. 6

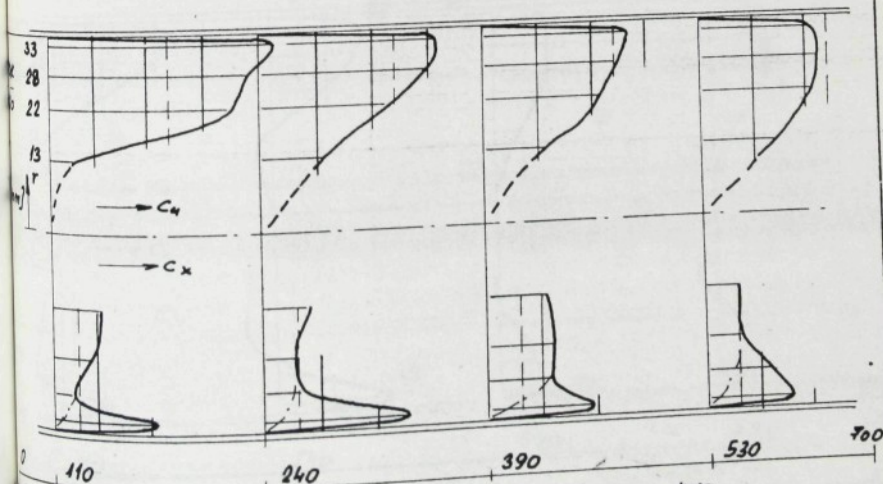
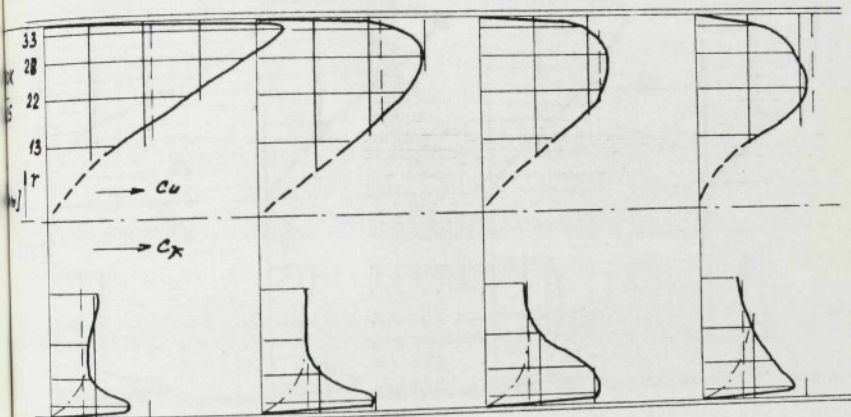
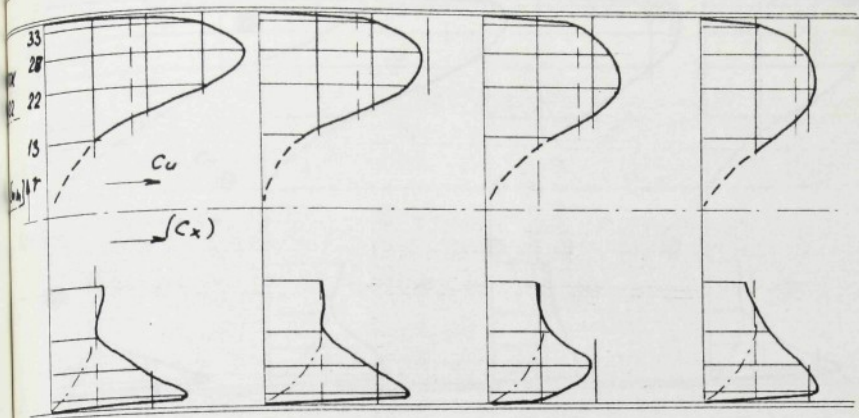
Uspořádání měření a záznam obrazovky osciloskopu při měření rychlosti proudění v okolí svěru válečků aparaturou DISA.



Záznam pozorování pohybu zviditelňujících částic v okolí
svěru rotujících válečků.

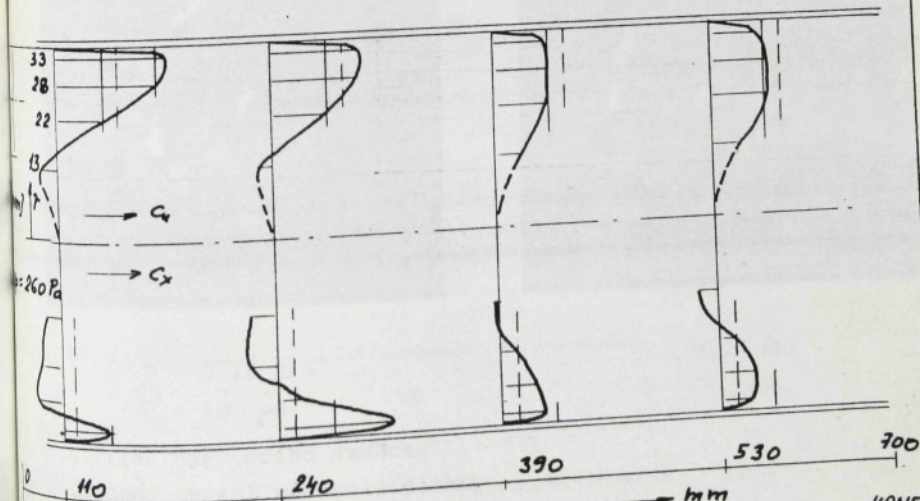
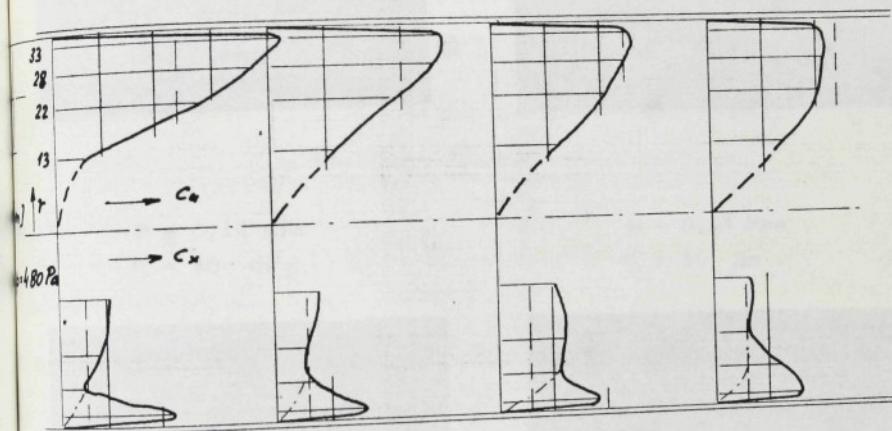
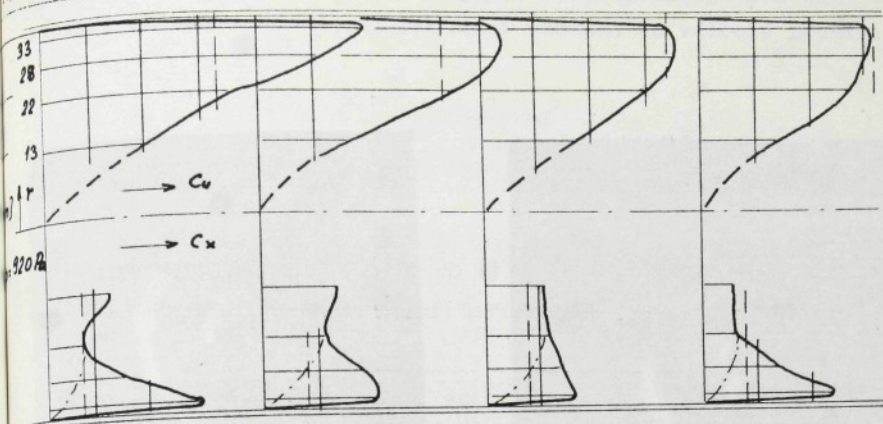


$$\Delta p = 480 \text{ Pa} = \text{konst.}$$



— ZMĚŘENO
--- STR. HODNOTY
- - - PRAVDĚP. SPRÁVNÝ PROFIL

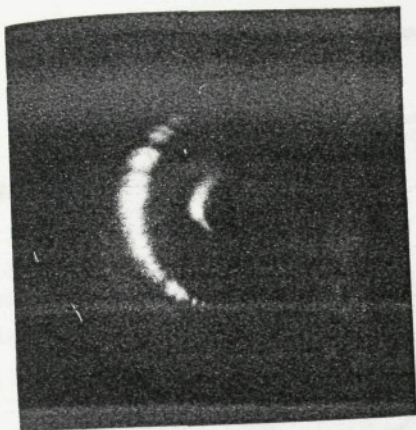
KONEC
MODELU



— ZMĚŘENO
- - - STŘ. HODNOTY
- - - PRAVDĚP. SPRÁVNÝ PROFIL

KONEC
MODELU

fotografie stopy přeskoğu jiskry při zviditelňování radiálního profilu obvodové rychlosti proudění vzduchu ve válcové trubici.



$P = 0,12 \text{ MPa}$

$\tau = 50 \text{ } \mu\text{s}$



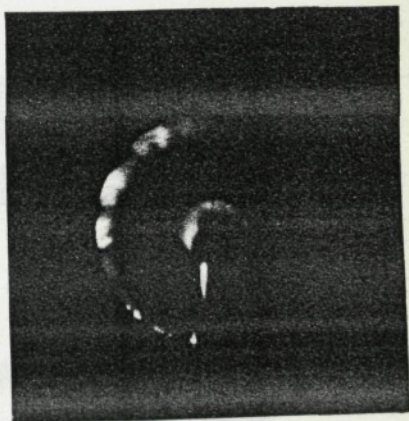
$P = 0,14 \text{ MPa}$

$\tau = 50 \text{ } \mu\text{s}$



$P = 0,18 \text{ MPa}$

$\tau = 50 \text{ } \mu\text{s}$



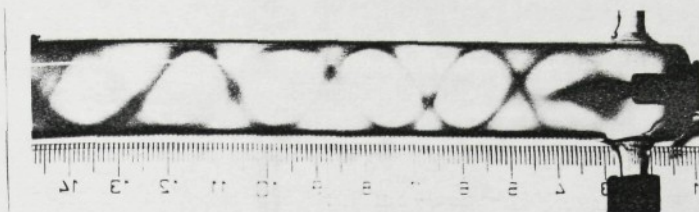
$P = 0,20 \text{ MPa}$

$\tau = 50 \text{ } \mu\text{s}$

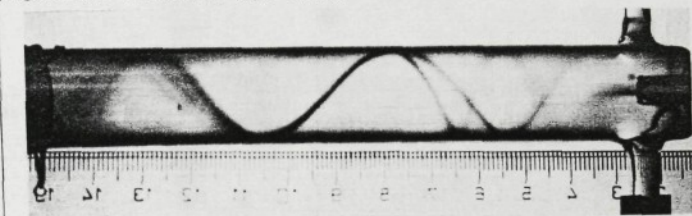
P ... tlak napájecího vzduchu

τ ... doba trvání přeskoğu jiskry

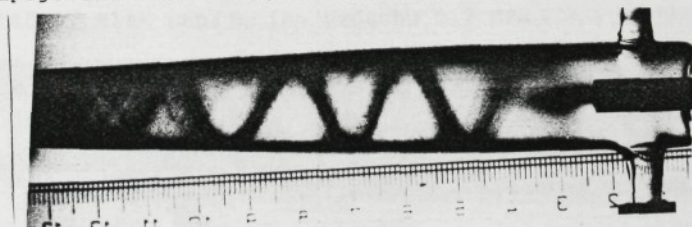
Zviditelnění proudění v trubici s tečně zaústěnými tryskami pomocí osově přísávaného hliníkového prášku,



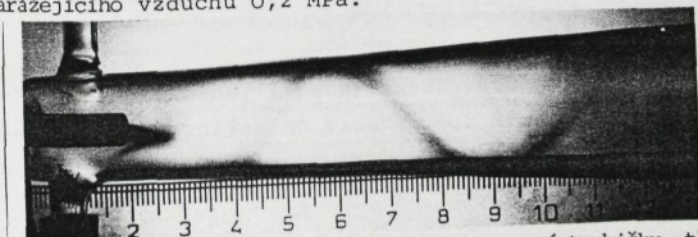
Válcová trubice, 2 tečné vstupy, střední poloha osové trubičky, tlak napájecího vzduchu 0,2 MPa.



Válcová trubice, 1 tečný výstup, střední poloha osové trubičky, tlak napájecího vzduchu 0,15 MPa.

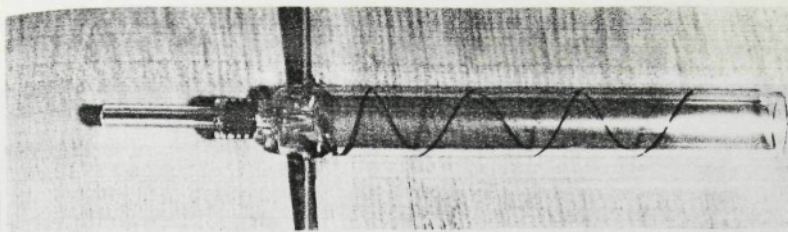


Konvergentní trubice, 1 tečný vstup, spodní ploha osové trubičky, tlak narážejícího vzduchu 0,2 MPa.

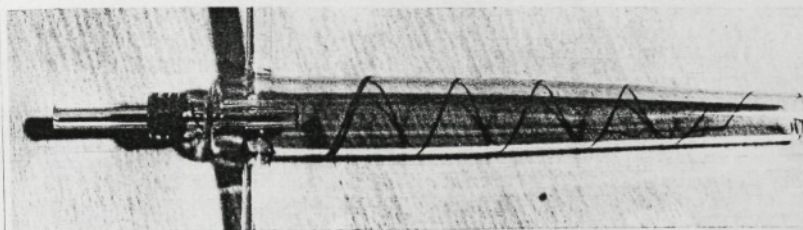


Divergentní trubice, 1 tečný vstup, spodní poloha osové trubičky, tlak napájecího vzduchu 0,2 MPa.

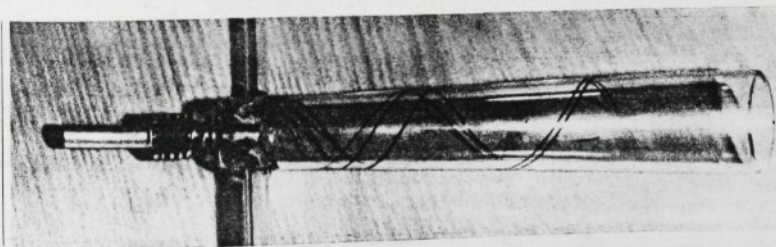
Fotografie stopy barviva na stěně trubice s tečně zaústěnými tryskami.



Válcová trubice, 1 tečný vstup, střední poloha osové trubičky, tlak napájecího vzduchu 0,2 MPa.



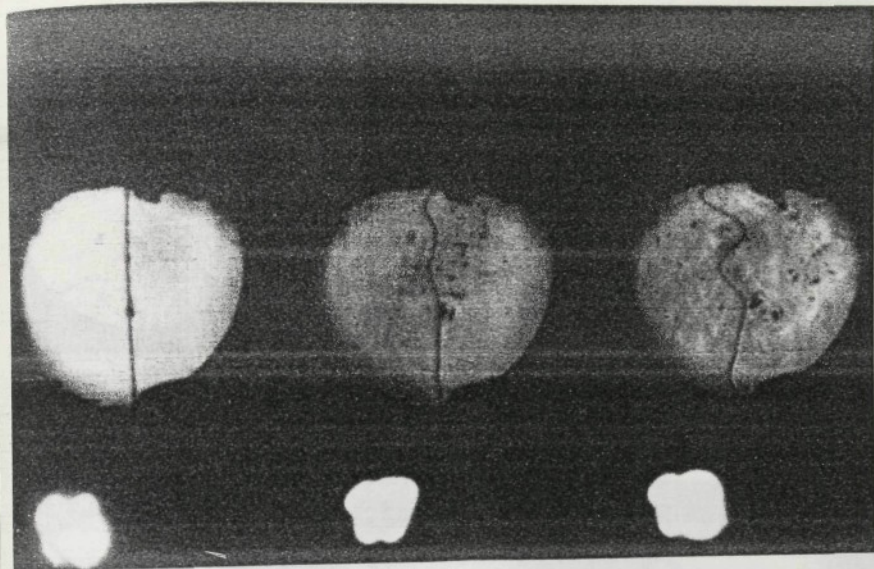
Konvergentní trubice, 1 tečný vstup, spodní poloha osové trubičky, tlak napájecího vzduchu 0,2 MPa



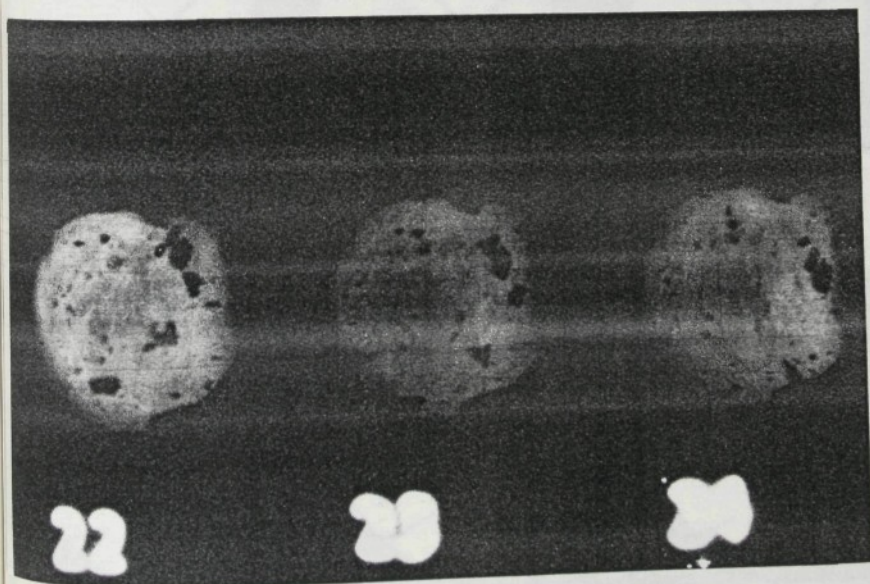
Divergentní trubice, 1 tečný vstup, střední poloha osové trubičky, tlak napájecího vzduchu 0,2 MPa.

značkování rotujícího proudu vzduchu napříč uloženým žhaveným drátkem.

snímky po 32 μ s. Napájecí tlak vzduchu 0,13 MPa.



Deformace drátku

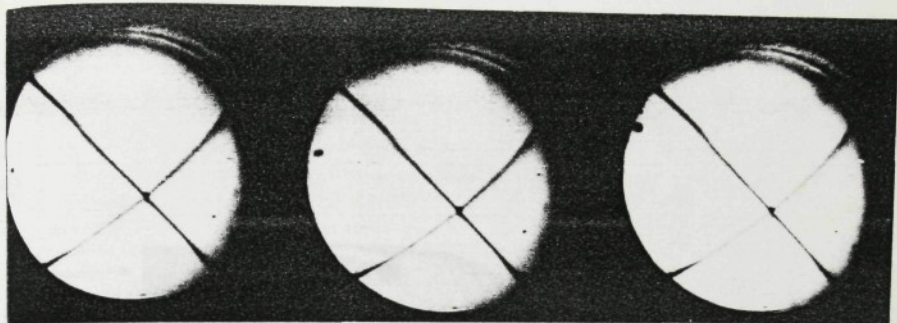


Rozpad drátku

Příloha č. 12

zviditelnění proudu vzduchu pomocí pohybu charakteristických částí.

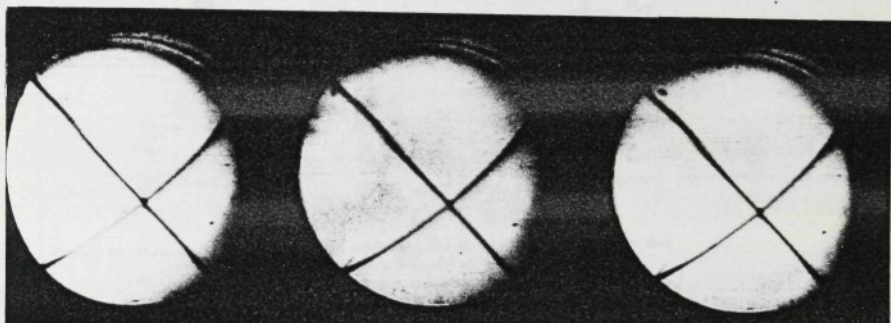
Snímky po $32\mu\text{s}$. Napájecí tlak 0,13 MPa.



1

2

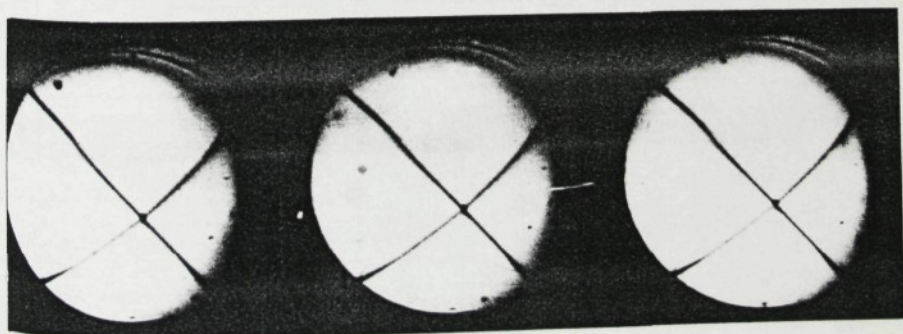
3



4

5

6



7

8

9

zviditelnění výtoku z tečně zaústěné trysky do válcové trubice.

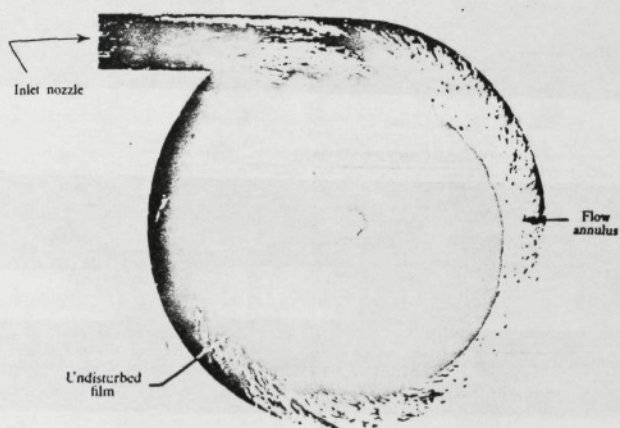


FIGURE 10. Photograph of uniflow vortex tube end-plate showing the division of the flow field in the inlet plane into a core and an annulus.

Záznam interakce volně visícího vlákna s čelem proudu v nárazové trubici.

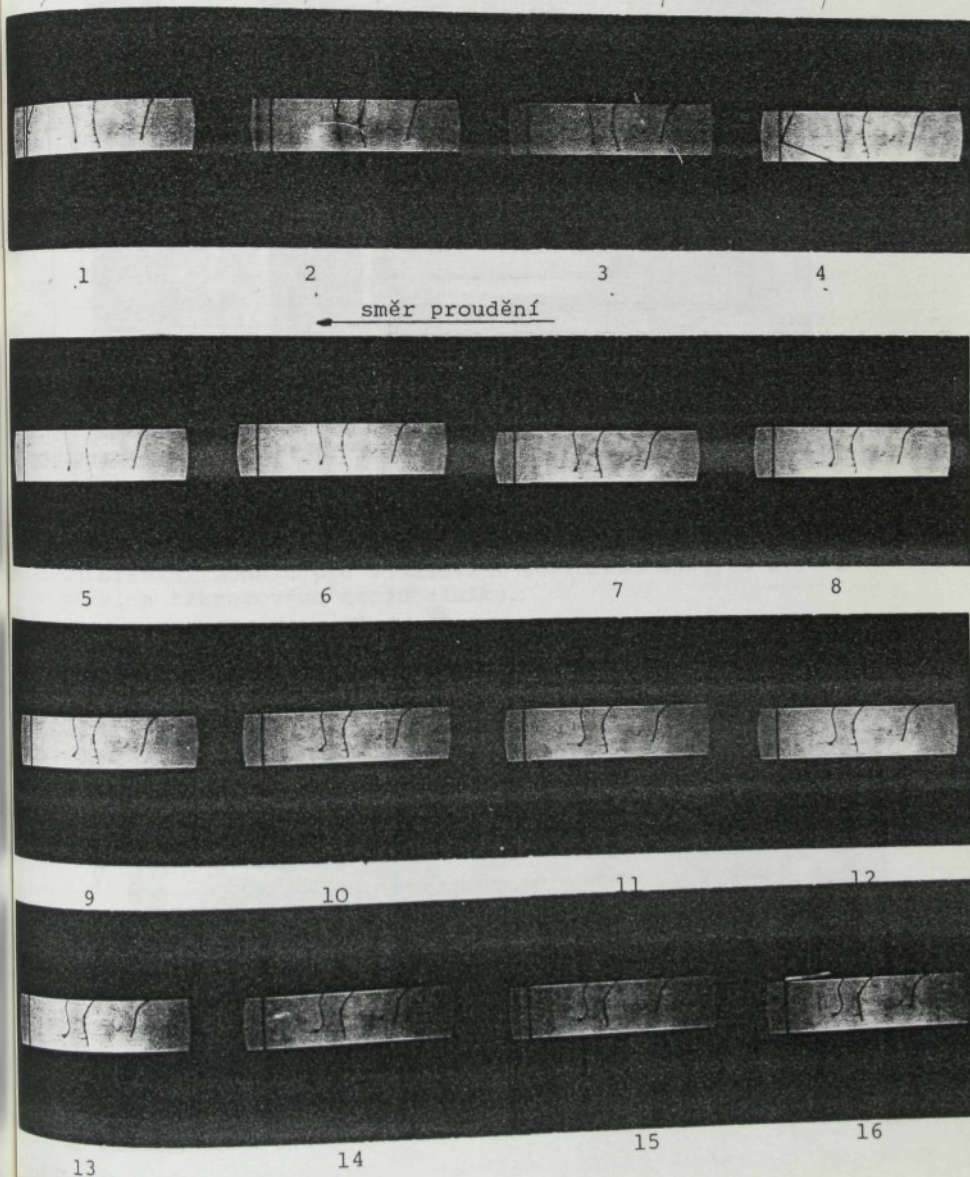
čelo rázové vlny

vlákno A

vlákno C

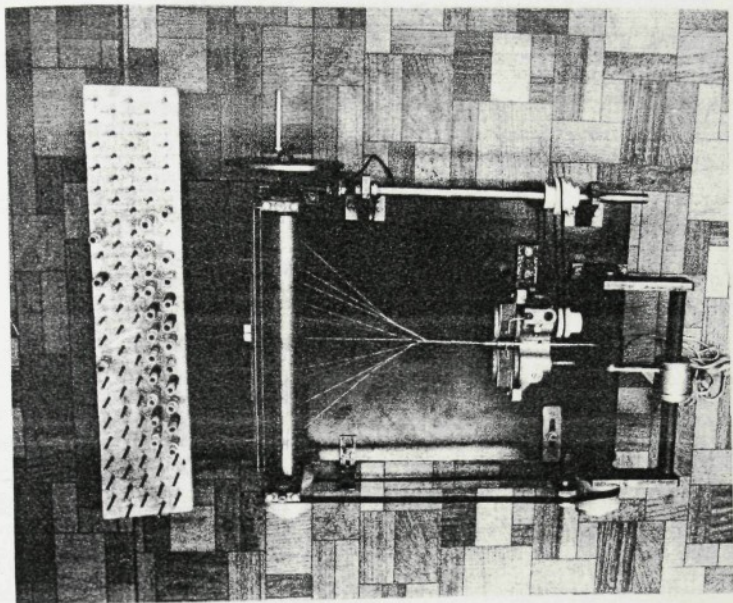
vlákno B

pevná značka



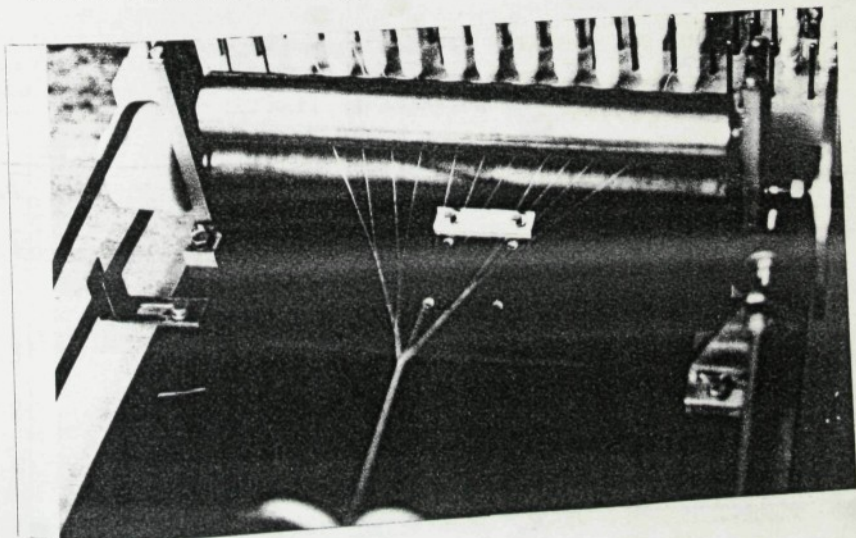
Příloha č. 15

Uspořádání modelu pro sledování poměrů v zákrutovém trojúhelníku



Příloha č. 16

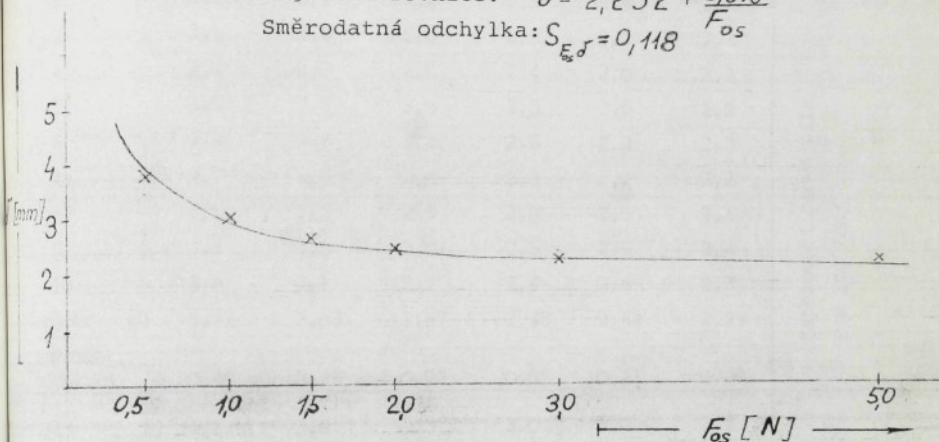
Uspořádání modelu pro zjišťování rozložení osových sil ve větvích zákrutového trojúhelníku.



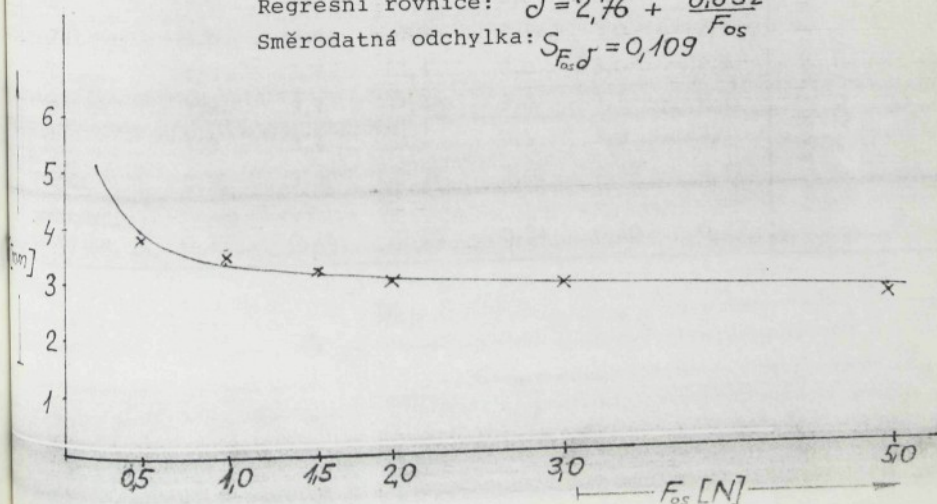
velikost průhybu zakrouceného svazku vláken vetknutého na obou koncích do svěru a zatíženého uprostřed osamělou silou jako funkce velikosti síly napínající svazek v osovém směru.

Tvary regresních rovnic, shoda s naměřenými hodnotami.

Zatěžovací osamělá síla $F = 100 \text{ /cN/}$
 Regresní rovnice: $\delta = 2,232 + \frac{0,616}{F_{os}}$
 Směrodatná odchylka: $S_{F_{os}\delta} = 0,118$



Zatěžovací osamělá síla $F = 200 \text{ /cN/}$
 Regresní rovnice: $\delta = 2,76 + \frac{0,652}{F_{os}}$
 Směrodatná odchylka: $S_{F_{os}\delta} = 0,109$



ukázka mikrofotografie řezu zakrouceného svazku vláken.



Navedení asymetrické dvojice 1:5



Navedení asymetrické dvojice 2:4

srovnání hustot zákrutů asymetrických dvojic naměřených na modelu a vypočtených pomocí rozboru konfigurace niti v řezu svazku.

Počet vláken ve větvích	Hodnoty naměřené				Hodnoty vypočtené	
	zákruty větví		zákruty větví ve svazku		zákruty větví	
3:7	84,5	89,2	118,4	122,9	83,5	91,0
	2,24	3,2	2,8	4,1		
3:13	83,2	95,6	119,2	122,3	82,7	90,3
	4,4	3,2	3,7	4,7		
3:19	65,4	75,8	95,7	100,7	61,3	79,2
	4,41	3,8	6,4	8,8		

Příklad výpočtu zákrutu větví z konfigurace řezu svazku pro počet vláken 3:7

$$Z_v = \frac{Z_{v/sv}}{(2\pi r_{v/sv} Z_{v/sv})^2 + 1}$$

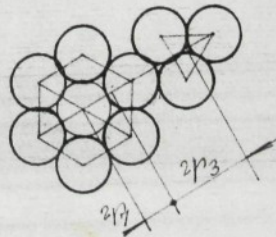
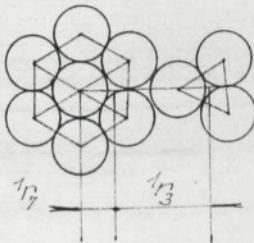
Naměřené hodnoty hustoty zákrutů větví ve svazku

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	μ	σ
Z_v/S_v (3)	84,1	88,5	86,9	81,6	85,7	86,2	81,8	86,2	81,8	81,8	84,5	2,44
Z_v/S_v (7)	93,2	91,7	90,9	83,3	87,4	86,9	93,5	88,5	85,7	95,2	89,2	3,2

Odhad velikosti poloměrů otáčení

$$r_3 = 0,5(r_3 + {}^2r_3)$$

$$r_7 = 0,5(r_7 + {}^2r_7)$$



příloha č. 21 Měření rovnoměrnosti chodu horní kůžičky

Tabulka:

Vliv rychlosti II. průtažného válce	6 m/min.	8 m/min.	10 m/min.
délka záznamu	291	220	174
jedné otáčky kůžičky	291	222	175,5
	290,5	222,3	174,2
	292	219,3	176
	288,5	222	175
		221	175,5
		220,5	

Rovnoměrnost chodu kůžičky byla hodnocena snímáním pohybu 29 bodů na kůžičce. Body jsou vytvořeny nanesením magnetického laku do rovnoměrně rozmístěných otvorů na obvodu kůžičky. Záznam je na papír a dělením po 2,62 mm, což je 0,01 s.

příloha č. 23: Kvalita příze v závislosti na rychlosti druhého páru válečků vybaveného kůžičkami při konstantní rychlosti prvního páru válečků průtahu

	Ryc lost CII /m/min/	Pom.pevn. - /N/tex/	Min.p.p. /N/tex/	Var.p. %	Tažnost /%/	Přetrhy /%/
pětivál. průtaž. ústrojí $C_I =$ 100m/min. model X6	5,5	0,1377	0,0649	16,1	13,4	-
	6,0	0,1400	0,0820	17,1	13,5	2
	6,5	0,1420	0,0864	15,3	13,38	2
	7,0	0,1340	0,0671	18,6	14,1	2
	8,0	0,1248	0,0635	20,9	13,3	4
	9,0	0,1256	0,0715	18,0	13,25	8
	10,0	0,1266	0,0803	19,8	13,1	-
	11,0	0,1322	0,0699	19,6	13,1	2
AS/VII/36	12,0	0,1296	0,0691	20,1	12,8	2
třívál.průt. ústrojí $C_I = 150$ m/min.	4,0	0,1282	0,0914	-	11,0	2
	6,0	0,1290	0,0978	-	12,9	-
	8,5	0,1348	0,0895	-	12,1	-
	11,5	0,1214	0,0777	-	11,8	-
	13,0	0,1228	0,0871	-	11,5	2
pětivál.průt. ústrojí $C_I = 150$ m/min.	5,0	0,1267	0,05	22,1	12,2	12
	7,5	0,1310	0,0711	20,0	12,0	4
	10,0	0,1363	0,0613	19,8	12,2	6
	12,5	0,1250	0,05	19,4	12,4	-
	15	0,1256	0,0567	19,0	11,6	2
	17,0	0,1266	0,0818	19,4	11,0	2
C3/VII/65						

příloha č. 24: Kvalita příze v závislosti na použitých opěrkách
klíčky průtahu.

Tabulka I.

výška opěrky /mm/	Pom.pevn. /N/tex/	Min.pom.p. CN/tex	Tažnost /%/
3,0	0,1397	0,0617	13,4
3,5	0,1263	0,0777	13,1
4,0	0,1267	0,0632	13,4
5,0	0,1179	0,518	14,0

Tabulka II:

Trubice	Opěrka- výška /mm/	Pom.pevn. /N/tex/	Var.pevn. /%/	Min.pom.p. /N/tex/	Tažnost %
C3/VI/66	2,75	0,1185	21,9	0,0645	11,5
	3,00	0,1212	19,8	0,0548	11,5
	3,3	0,1264	14,9	0,0857	11,5
	3,6	0,1179	21,6	0,0733	11,0
C5/VI/60	2,75	0,1163	22,4	0,0533	11,5
	3,0	0,1170	15,4	0,0809	11,0
	3,3	0,1077	18,7	0,0592	11,0
	3,6	0,1166	15,9	0,0738	11,5
DS/VI/46	2,75	0,1064	21,7	0,0486	10,25
	3,0	0,1253	21,6	0,0664	11,25
	3,3	0,1142	19,3	0,0746	11,0
	3,6	0,1079	19,8	0,0751	11,5
C3/VII/65	2,5	0,0908	22,6	0,0284	8,75
	2,8	0,0978	24,3	0,0382	9,0
	3,0	0,1055	20,9	0,0559	9,9
	3,3	0,1018	23,9	0,0382	9,6
	3,5	0,1033	21,5	0,0533	10,0

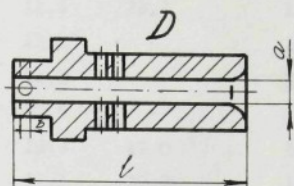
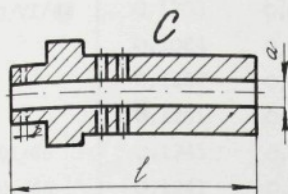
příloha č. 25: Kvalita příze v závislosti na vzdálenosti přední
hrany kůžiček od svěru prvního páru válečků průtahu

vzdálenost - H_1 zkoušeny dvě vzdálenosti 0,3 a 1,0 mm. Vzhledem k tomu, že při zvětšování vzdálenosti došlo k markantnímu poklesu pevnosti a zvýšení přetrhovosti i ke zhoršení příadního procesu (úlet vláken, snaha nabalování na kůžičku), nebyly provedeny zkoušky s dalším zvětšováním vzdáleností.

Vzdálenost H_1 /mm/	Pom.pevn. /N/tex/	Variace /%/	Min.pom.p. /N/tex/	Tažnost /%/	Přetrhovost /l/hod./
0,3	0,1353	8,0	0,0952	13,2	-
1,0	0,1220	13,3	0,0851	11,6	4

vzdálenost H_2 - při odzkoušování vzdáleností se projeví obdobné tendence jako u zkoušek vzdáleností H_1 , dokonce u větší vzdálenosti příadní proces nebyl uskutečnitelný, proto nastavena minimální prakticky dosažitelná vzdálenost (0,3 mm).

příloha č. 26: Tabulka trysek řady C a D



Tryska:	Délka "l" /mm/	Rozměr "a" ø /mm/	Rozměr "b" ø /mm/	Počet kanáleků	Poznámka
D 1/IV	43	3,0	1	4	
D 1/2	-	3,0	1	2	
D 2	-	3,0	0,7	4	
D 3	-	3,2	0,6	-	
D 3/I	-	-	0,7	-	
D 3/II	-	-	0,8	-	
D 3/III	-	-	0,8	-	rozměr "a" k ústí tang.kanáleků ø 3,4 mm
D 4	-	3,4	0,6	-	
D 4/I	-	-	0,7	-	
D 4/II	-	-	0,8	-	rozměr "a" k ústí tange.kanáleků
D 4/III	-	-	0,8	-	ø 3,6
D 5	-	3,6	0,6	-	
D 5/I	-	-	0,7	-	
D 5/II	-	-	0,8	-	
D 5/VI	38	-	-	-	
D 5/VII	33	-	-	-	
C 3	43	4,0/3,0	1	2	C1 a 2 "l"-50 mm
C 4	-	-	0,7	4	C4/I-O,75x4 spirál
C 5	-	-	0,5	8	střídavě
C 6	-	-	1	2	4 podél průřezy odvětrací
C 7	-	-	1	2	2 příč. tangen. průřezy odv.
C 8	20	-	1	2	zakonč.trsky O

Tryska	Poměr. pevn. /N/tex/	Minim.pom.pev. /N/tex /	Variace / % /	Tažnost / % /	Nestejn. /U %/	Jemnost /tex/
DL/2/VI/42	0,1203	0,0685	20,7	11,5	23,7	13,45
D 6	0,1084	0,0756	13,6	12,25	-	13,75
D 7	0,1187	0,0735	16,0	11,0	-	14,15
D 8	0,1261	0,0667	20,7	10,5	-	13,8
C3/VI/66	0,1345	0,0716	17,4	12,3	19,0	13,4
C4/VI/66	0,1241	0,0706	19,9	11,1	22,2	14,35
C5/VI/66	0,1217	0,0632	17,7	11,9	22,2	13,3
C3/VII/65	0,1480	0,0964	9,1	13,7	-	13,7
C5/VII/65	0,1414	0,1029	8,8	13,75	-	14,0

Jak z tabulky vyplývá, nejlepších výsledků bylo dosahováno ve všech fázích vývoje trysek s tryskou C 3. Proto byla použita pro osazení modelu X 7 a pro většinu zkoušek, i když pro porovnání byly dělány zkoušky i jinými tryskami.

vliv vývoдек na kvalitu příze u jednotlivých trubic

$C_I = 150 \text{ m/min.}$ 5 - váleček

Trubice	Druh/ délka vývodky	Poměr.pevn. N/tex	Min.pom. pevn. N/tex	Variace pevn. %	Tažnost %	Pevnost tex
D 1/2/VI	42-4,85	0,1386	0,0895	15,1	11,75	13,85
	41-5,0	0,1135	0,0555	18,2	11,75	13,7
	46-5,5	0,1238	0,0783	19,0	11,75	14,3
D8/VI	42-4,0	0,1140	0,0631	24,0	11,0	13,95
	44-4,5	0,1245	0,0703	19,0	10,5	13,65
	42-4,85	0,1184	0,0838	14,3	10,0	13,85
	45-5,0	0,1176	0,0676	20,4	11,0	13,6
	46-5,5	0,1064	0,0486	21,7	10,25	14,0
C 3/VI	63-8	0,1328	0,0809	19,0	11,0	13,85
	64-9	0,1180	0,0489	21,7	11,0	13,9
	65-10	0,1136	0,0571	22,3	10,75	14,0
	66-11	0,1185	0,0645	21,9	11,5	14,25
C 4/VI	63-8	0,1330	0,0879	16,0	11,25	14,1
	64-9	0,1179	0,0477	21,5	10,5	14,25
	65-10	0,1257	0,0829	18,7	10,75	14,0
	66-11	0,1276	0,0756	19,7	11,5	13,75
C 5/VI	64-9	0,1158	0,0835	18,9	10,5	13,9
	65-10	0,1081	0,0650	17,3	11,0	14,15
	66-11	0,1163	0,0533	22,4	11,5	13,5
C 3/VII $C_I = 150 \text{ m/min.}$ 3-váleček	63-8	0,1366	0,0993	9,7	12,6	14,0
	64-9	0,1437	0,0958	9,4	13,5	14,2
	65-10	0,1432	0,0993	8,1	14,1	13,9
	66-11	0,1435	0,1127	8,5	14,2	14,2

Vliv tvaru výstupního otvoru

U trubic řady C byl odzkoušen trojí výstup ukončení tělesa trubice dle nákresu:

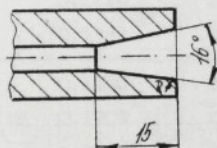
Varianta O



Varianta A



Varianta B



Trubice	Varianta	Pom.pevn. /N/tex/	Var.pov. /%/	Minim.p.pevn /N/tex/	Tažnost %
C 3a b	O	0,1099	20,1	0,0682	12,5
	A	0,1102	26,7	0,0643	11,75
	B	0,1207	21,2	0,0685	11,25

Vzhledem k jednoznačnému vzrůstu poměrné pevnosti byly trubice C vyrobeny s ukončením dle varianty B.

Na modelu X6c /1 míst./ byly odzkoušeny při tlacích 0,3-0,4 MPa trubice řady C při rychlosti 150 m/min.

Tabulka: Vliv tlaku a trubic na kvalitu příze.

Trubice	Tlak pod. MPa	Poměr.pevn. /N/tex/	Minim.pom. pev. N/tex	Tažnost %	Var.pevn. %
C 3/VII/66	0,3	0,1234	0,0766	11,5	17,0
	0,33	0,1329	0,0763	11,5	16,4
	0,35	0,1189	0,0506	11,0	21,5
	0,37	0,1226	0,0526	11,0	20,4
	0,4	0,1187	0,0604	11,75	21,5
C 4/VII/66	0,3	0,1170	0,0766	11,25	20,5
	0,33	0,1209	0,0615	11,0	23,2
	0,35	0,1156	0,0596	10,5	26,2
	0,37	0,1216	0,0506	11,0	19,9
	0,4	0,1249	0,0693	11,5	19,7
C 5/VII/66	0,3	0,1119	0,0635	10,5	16,1
	0,33	0,1185	0,0714	11,0	19,5
	0,35	0,1187	0,0797	10,75	17,8
	0,37	0,1217	0,0638	11,0	22,8
	0,4	0,1216	0,0719	10,5	17,3
D 1/2/VII/37	0,24	0,1134	0,0491	11,5	17,6
	0,27	0,1186	0,0486	11,50	20,8
	0,3	0,1220	0,0710	12,0	17,1
	0,33	0,1126	0,0606	10,75	20,9
	0,35	0,1107	0,0714	11,75	19,7

příloha č. 27: Závislost kvality příze na vzdálenosti trysky od svěru
prvního páru válečků průtahu

Na modelu označeném X6c byl sledován vliv vzdálenosti trysky u jednotlivých typů trysek.

Tryska/ hl. čep	Vzdál. trysky /mm/	Pom.pev. /N/tex/	Variace / % /	p.Min.pom.p /N/tex/	Tažnost
C3/VII/66	11,7	0,1269	14,6	0,0894	12,0
	12,2	0,1407	13,6	0,0850	12,5
	12,7	0,1212	19,0	0,0850	11,5
	13,2	0,1324	21,0	0,0609	12,0
C5/VII/66	11,7	0,1208	12,7	0,0974	11,0
	12,2	0,1194	13,4	0,0978	11,75
	12,7	0,1121	18,6	0,0773	10,75
	13,2	0,1159	21,6	0,0759	11,0
DS/VII/44	11,7	0,1109	19,5	0,0604	12,25
	12,2	0,1094	15,9	0,0629	12,0
	12,7	0,1124	16,4	0,0749	11,5
	13,2	0,1171	16,3	0,0755	11,75

Experimentálně bylo odzkoušeno i větší přiblížení trysky. Došlo k prudkému poklesu pevnosti, velké četnosti slabých míst a snížení minimální poměrné pevnosti (o 23 %).

Na modelu označeném X6 byly odzkoušeny čtyři vzdálenosti ústí trysky
a 0,5 mm od osy I. cylindru.

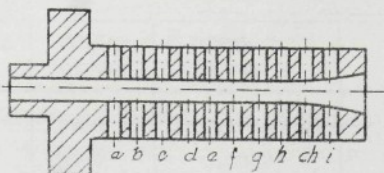
$c_I = 150 \text{ m/min.}$ 3 vál.

Tryska/ hl.čep	Vzdál. trysky /mm/	Pom.pev. /N/tex/	Variace %	p.Min.pom.p /N/tex/	Tažnost
C3/VII/65	11,7	0,1475	10,3	0,1036	13,5
	12,2	0,1480	9,1	0,0964	13,7
	12,7	0,1454	10,1	0,0943	12,7
	13,2	0,1454	10,0	0,0943	13,4
C3/VIII/65	12,2	0,1124		0,0511	5.vál 12,3
				0,0800	12,8
	12,45	0,1251		0,0593	12,5
	12,7	0,1285		0,588	12,5
	13,2	0,1162			

příloha č. 28: Závislost hustoty zákrutů na napájecím tlaku
vzduchu

Napájecí tlak /MPa/	Z 1/0,25 m/					Σ	Z/1/1
	1	2	3	4	5		
0,05	57	48	56	60	48	269	215,2
0,10	80	75	72	74	80	381	304,8
0,15	92	87	95	153	109	536	428,4
0,20	113	132	103	116	131	594	475,2

Příloha 29: Závislost kvality příze na počtu a umístění odvětracích otvorů



a-i díry v jedné rovině

a'-i' díry v rovině kolmé

Na válečku byl odzkoušen a optimalizován počet odvětracích otvorů a jejich umístění.

Tab. I.

Tryska	Odvětr. otv. .	Pom. pevn. /N/tex/	Variace pevn. %	Min.pom. pevn. /N/tex/	Tažnost %
D 1 (4x1,0 mm) tang.kanál	a-b	-	-	-	-
	a-d	0,0911	22,4	0,0415	10,25
	a-f	0,0938	27,3	0,0527	10,75
	e-h	0,0926	16,9	0,0561	10,25
	a-i	0,1039	18,2	0,0707	11,5
	e-i	x -	-	-	-
	g-i	0,0819	-	-	10,25
	ch-i	x -	-	-	-
D 1/2 (2x1,0 mm) tang.kanál	a-b	0,0979	23,5	0,0476	10,25
	a-d	0,1145	25,5	0,0424	11,0
	a-f	0,1082	24,2	0,0598	10,5
	a-h	0,1121	22,6	0,0543	11,5
	a-i	0,1104	19,5	0,0746	11,25
	e-i	0,0975	26,3	0,0516	10,25
	g-i	0,1053	20,8	0,0533	11,25
	ch-i	0,0939	26,1	0,0462	10,5

x - zkoušky nehodnoceny pro velký počet přetrhů

Z tabulky je patrné, že odvětrání prvými pěti dírkami je lepší než druhou polovinou. Optimum u a-i (variace a min.pom. pevnost).

Tabulka II

model X6c $C_I = 150$ m/min. 5 vál.

Tryska	Odvětr. otvory	Pom.pevn. /N/tex/	Var.pevn. %	Min.pom.pevn. /N/tex/	Tažnost /%%
D6	a-f	0,1014	16,7	0,0725	11,25
	a-h	0,0982	21,4	0,0449	11,25
	a-i	0,1084	13,6	0,0756	12,25
D7	a-f	0,1065	15,9	0,0604	10,25
	a-h	0,1075	15,8	0,0683	10,5
	a-i	0,1187	16,0	0,0735	11,0
D8	a-f	0,1141	15,9	0,0683	10,5
	a-h	0,1250	20,2	0,0882	10,75
	a-i	0,1261	20,7	0,0667	10,5
C3	a-f	0,1240	16,1	0,0803	11,25
	a-h	0,1281	18,0	0,0835	11,5
	a-i	0,1235	18,4	0,0730	12,0
C5	a-f	0,1176	16,7	0,0732	11,5
	a-h	0,1387	12,9	0,0958	11,0
	a-i	0,1175	15,9	0,0701	11,75

Tabulka III

model X6 - 150 m/min. 3 vál.

C3	O	0,1502	11,1	0,1096	15,0
	a, á	0,1521	10,3	0,0935	14,3
	a-b, á-b'	0,1475	9,0	0,1029	13,5
	a-c, á-ċ	0,1504	8,8	0,0823	13,6
	a-d, á-d	0,1414	11,1	0,1000	13,5
	a-e, á-é	0,1491	10,2	0,1135	13,0
	a-f, á-f'	0,1478	10,2	0,1122	13,4

Tabulka IV. Vliv odvětracích otvorů na podtlak při různém tlaku pro trysku C 3/VII/65

Počet odvětr. otvorů	Podtlak /mmHg /	T l a k /MPa/		
		0,3	0,33	0,35
0		408	446	462
4		408	438	452
8		438	454	460
12		430	448	458
16		428	444	454
20		420	438	448
24		424	436	440
28		416	434	442
32		422	436	436
36		418	434	442
40		424	442	444

Z tabulky je zřejmé, že počet odvětracích otvorů nemá v podstatě vliv na podtlak. Zvyšováním tlaku se zvětšuje podtlak.

Tabulka V. Velikost napájecího tlaku, velikost a počet tečných otvorů.

V řadě trysek C bylo použito u C 1-3 tangenc.otvorů o průměru 1 mm (= celk.plocha $1,57 \text{ mm}^2$), u C4-4x0,7 ($1,54 \text{ mm}^2$), C4/I - 4x0,75 (1,77), C5 - 8x 0,5 mm (1,57).

V řadě trysek D bylo odzkoušeno: D1-2 2x1,0 mm, u D3/0-5/0 - 4x0,6 mm (= $1,13 \text{ mm}^2$), D3/I - D5/I = 4x0,7 mm (= $2,01 \text{ mm}^2$) D6 - 4x0,7 (1,54), D7 6x0,6 (1,7) a D8:8x0,5 (1,57).

Tryska	Tlak /MPa/	Poměr pevn. /N/tex/	Min.pom.pevn. /N/tex/	Tažnost /%/
C3/VII/65 (24 odv.d.)	0,27	0,1194	0,0496	12,9
	0,3	0,1213	0,0597	13,5
	0,33	0,1194	0,0544	13,4

5 vál.
150 m/min.

Vliv napájecího tlaku a odvětracích otvorů na napětí příze před tryskou

Tlak /MPa/	Napětí /ON/	Odvětrací otvory			
		0	8	20	32
2		11,5	10,25	9,0	9,75
2,5		13,0	12,0	11,5	12,0
3		15,5	14,5	14,0	14,25
3,5		17,25	16,75	16,0	16,0
4		19,75	19,0	17,5	18,0

Podtlak vyvolaný tryskou: porovnání trysek, vlivu tlaku na podtlak

Tryska Podtlak /mm Hg/	Tlak /MPa/					
	0,2	0,25	0,3	0,33	0,35	0,4
C3/VII/66	282	320	352	368	378	394
C4/VV/66	278	320	358	380	398	430
C5/VII/66	192	232	266	284	296	318
D1/VII/42	250	280	298	312	320	332
D6/VII/42	292	336	372	398	406	384
D7/VII/42	228	270	312	332	348	392
D8/VII/48	230	284	328	356	376	410

Vliv vývodky při různém tlaku na podtlak

Tryska čep-délka Podtlak /mm Hg/	Tlak /MPa/					
	0,2	0,25	0,3	0,33	0,35	0,4
C3/VII/66-11	282	320	352	368	378	394
65-10	266	318	368	392	410	460
64-9	276	328	374	396	412	x
63-8	288	350	404	434	x	x
62-7	310	358	398	422	x	x

Vliv vývodky při různém tlaku na podtlak (pokračování tabulky)

Podtlak /mm Hg/ Tryska čep-délka	Tlak /MPa/					
	0,2	0,25	0,3	0,33	0,35	0,4
C3-VII/61-6	302	352	396	420	x	x
60-5	284	330	366	380	386	390

x - hodnoty nad rozsah měřicí aparatury

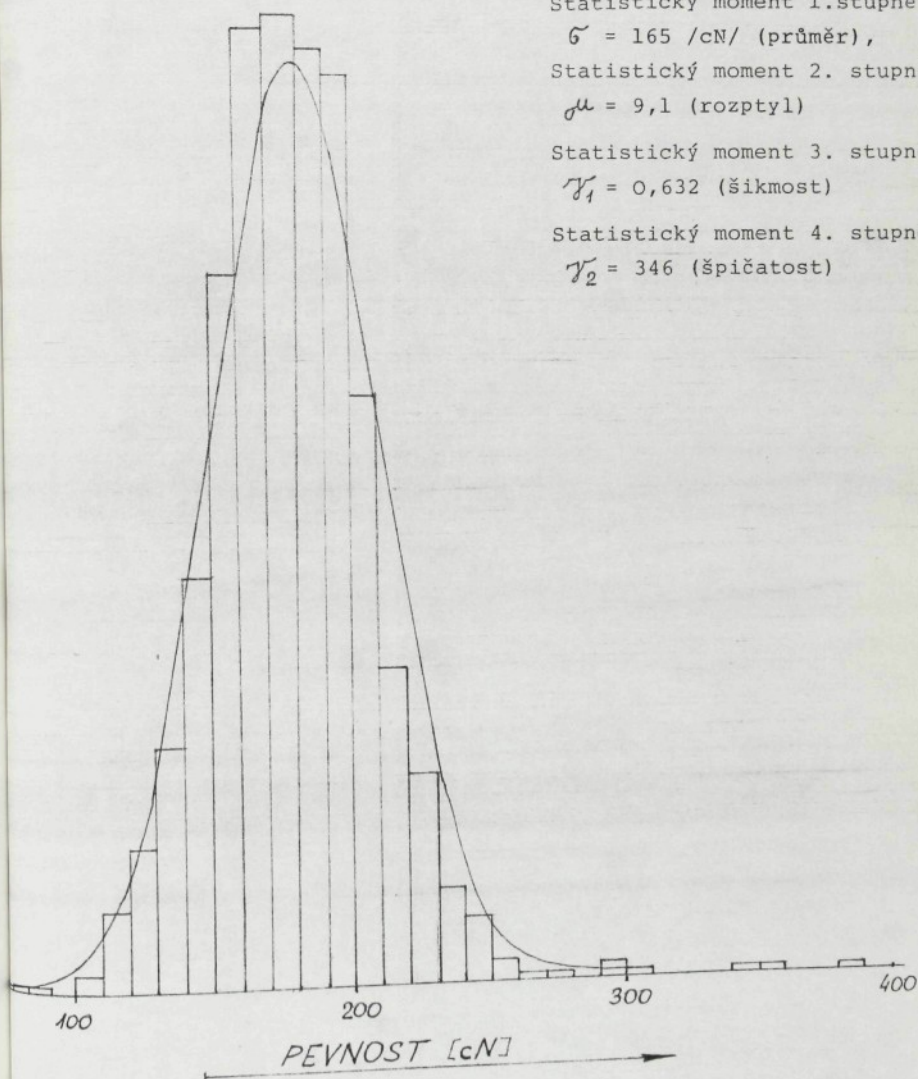
prádní optimum: vývodka 65 - délka 10 mm - tlak 0,3-0,33 Mpa

Podtlak /mm Hg/ Tryska vývodka-délka	Tlak /MPa					
	0,2	0,25	0,3	0,33	0,35	0,4
DS/41-5,0	218	268	314	342	358	388
42-4,85	230	284	328	356	376	410
44-4,5	232	280	330	356	370	396
46-5,5	244	290	338	366	376	406

Optimum: vývodka 46, tlak 0,35

Hodnocení pevnosti příze

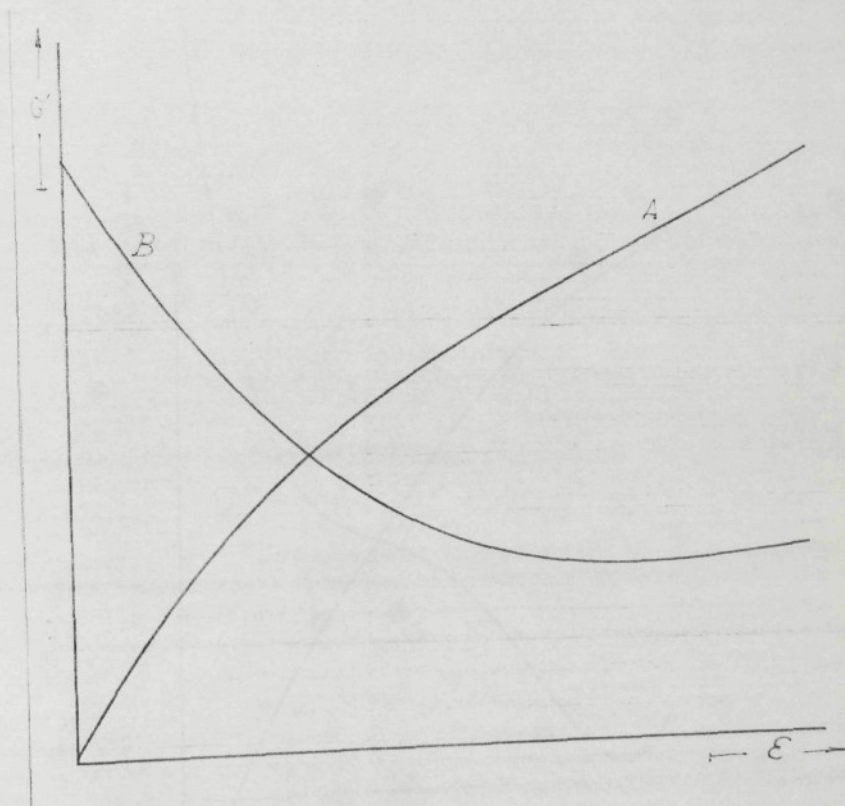
Histogram z trhacího přístroje se zakreslenou křivkou normálního rozložení odpovídající průměrné pevnosti a rozptylu pevnosti histogramu.



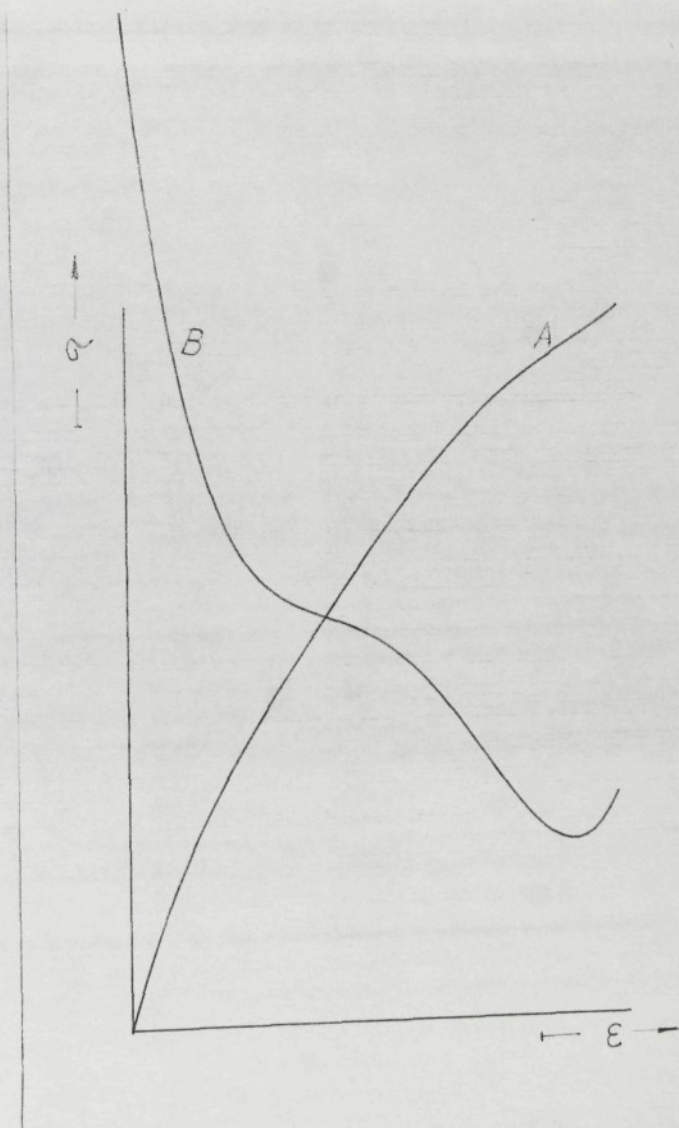
Příloha č. 31

Pracovní křivky příze a jejích první derivace.

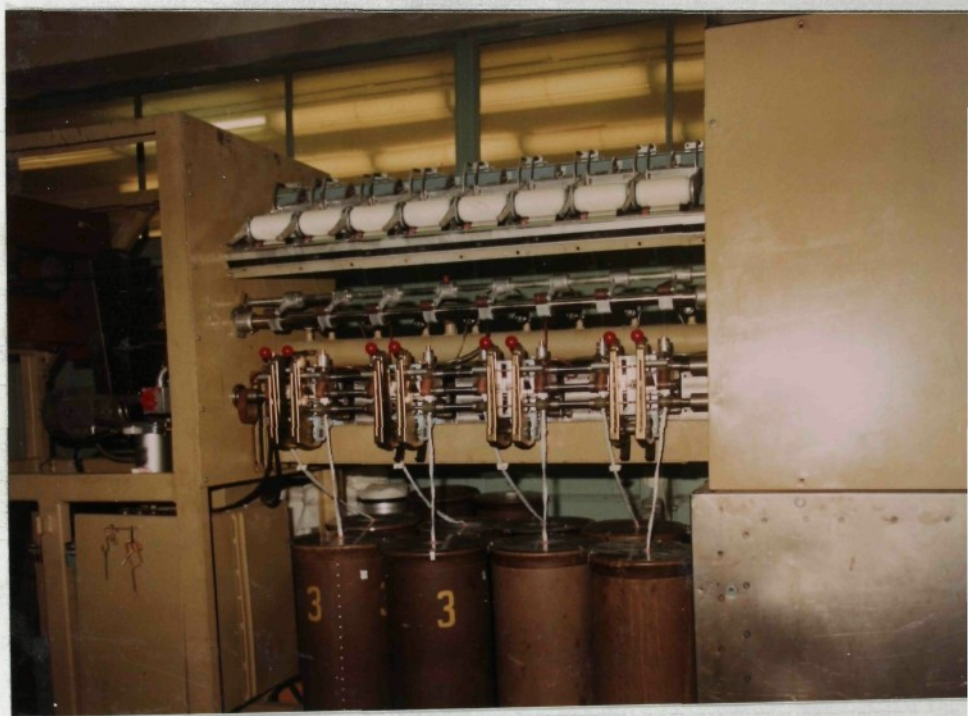
Typická pracovní křivka (A) a její první derivace (B) tryskové příze 14,5 tex z předlohy PES/ba 65/35 z n.p. Tepna Náchod závod 07.



Typická pracovní křivka (A) a její první derivace (B) prsten-
cové příže 14,5 tex vyrobené v n.p. Tepna Náchod, závod 07
z předlohy PES/ba 65/35.



Pohled na model stroje



Příloha č. 33

Vzorek tkaniny z příze vyrobené na modelu stroje.

Materiál: PES/ba M II čes. 65%/35%, pramen 1,8 ktex

Příze: 14,5 tex v osnově i útku.

Rychlost předení: 150 m/min.

Tkáno na vzduchovém stavu v UZCHV Česká Třebová.

