

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní

Katedra textilních a oděvních strojů

Ing. NGUYEN KIM QUY

Dynamika prohozu útku na pneumatických tkacích strojích

Vědní obor: 23 - 03 - 9 stavba výrobních strojů a zařízení

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146088160

Školitel: Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.

Vedoucí katedry: Doc. Ing. Jiří Mrázek CSc.

TECHNICKÁ UNIVERZITA
Univerzitní knihovna
Voroněžská 1328, Liberec
PSČ 461 17

12.12.24 s. příl.

Dr. J. ab.

11.1.2020

Poděkování

Děkuji za účinnou pomoc a cenné rady při vzniku mé disertační práce

- Školiteli Prof. Ing. Vladimíru Prášilovi, DrSc
- Vedoucímu katedry Doc. Ing. Jiřímu Mrázkovi, CSc
Doc. Ing. Františku Egrtovi, CSc
Doc. Ing. Karlu Adámkovi, CSc
VÚTS - Liberec
Ing. Jaroslavu Beranovi, CSc
Ing. Zdeňkovi Vitamvásovi, CSc

a dalším pracovníkům školícího pracoviště katedry textilních a oděvních strojů, stejně jako všem pracovníkům na VŠST Liberec, se kterými jsem se setkal při vypracování disertační práce.

Autor

OBSAH

	str.
1 Úvod	9
2 Současný stav problematiky se stanovisky disertanta	10
2.1. Přehled problematiky prohozu na bezčlunkovém stavu všeobecně a zejména na pneumatickém stavu	12
2.2. Rozbor funkce elementů při prohozu útku na pneumatickém stavu	12
2.2.1. Odměřovač	13
2.2.2. Tryska	13
2.2.2.1. Hlavní tryska	13
2.2.2.2. Pomocná tryska	17
2.2.3. Prohozní kanál	19
2.2.3.1. Konfuzor	20
2.2.3.2. Profilový paprsek	22
2.2.3.3. Prohoz podél rovinného paprsku	23
2.3. Teoretický a aplikovaný výzkum pneumatického prohozu a pohybu útku ve vzduchovém proudu	24
2.3.1. Volný proud vzduchu	24
2.3.2. Teoretické řešení pohybu útku ve vzduchovém proudu	31
2.3.2.1. Tahová síla útku	31
2.3.3. Pohybová rovnice útku	34
2.3.3.1. Prohoz pomocí přífukovacích trysek	37
2.3.4. Spotřeba vzduchu při pneumatickém prohozu	38
2.4. Závěr	39
3. Cíl disertační práce	40
4. Zvolené metody zpracování	41
5. Tlakové pole v prohozním kanálu profilového paprsku s vlivem přífukovací trysky	43
5.1. Způsob měření	43
5.2. Závěry měření	57
6. Experimentální měření vybraných veličin proudu vzduchu	60

6.1.	Dosah hlavní trysky v kanálu profilového paprsku	60
6.2.	Průběh rychlosti proudu vzduchu v kanálu profilového paprsku	61
6.3.	Tahová síla působící na útek	64
7.	Matematický model pohybu útku v proudu vzduchu pneu. tkacího stroje	66
7.1.	Pohybová rovnice útku v proudu vzduchu	67
7.2.	Zhodnocení řešení	72
7.2.1.	Průběh rychlosti útku pro různé výtokové rychlosti z hlavní trysky	72
7.2.2.	Vliv délkové hmotnosti útku na jeho rychlost	75
7.2.3.	Průběh rychlosti útku bez vlivu přifukovacích trysek	81
7.2.4.	Vliv délky výstupní trubice hlavní trysky na rychlost útku	82
7.2.5.	Vliv koeficientu odporu vzduchu na rychlost útku	84
7.3.	Závěr	90
8.	Analýza náběhu rychlosti proudu vzduchu v kanálu profilového paprsku	92
8.1.	Měřicí stolice	92
8.2.	Elektrické zapojení měření	94
8.2.1.	Vlastnosti snímačů TMK	94
8.2.2.	Zesilovač nůstku a napájecí zdroj	95
8.2.3.	Osciloskop TEK 2230	96
8.2.4.	Zapisovač BAK 5T	96
8.3.	Doba otevírání ovládacího ventilu	96
8.4.	Zhodnocení výsledků měření	102
8.4.1.	Náběh proudu vzduchu s účinkem hlavní trysky	102
8.4.2.	Náběh proudu vzduchu s účinkem přifukovacích trysek	106
8.5.	Závěr	112
9.	Celkový závěr	113
10.	Přehled použité literatury	117
11.	Seznam příloh	121

Seznam použitých symbolů a zkratek

Značka	Název veličiny	Jednotka
A	donosnost vzduchového proudu	[m]
a	zrychlení útku	[m.s ⁻²]
a ₀	experimentálně stanovený koeficient	[1]
a _z	rychlost zvuku	[m.s ⁻¹]
C	koeficient odporu průletu útku prohozním kanálem	[1]
C _{t0}	koeficient odporu vzduchu před hlavní tryskou	[kg.m ⁻²]
C _{t1}	koeficient odporu vzduchu v útkové trubici hlavní trysky	[kg.m ⁻²]
C _{t2}	koeficient odporu vzduchu v výstupní trubici hlavní trysky	[kg.m ⁻²]
C _k	koeficient odporu vzduchu v kanálu profilového paprsku	[kg.m ⁻²]
C _R	koeficient odporu, funkce Reynoldsova čísla	[1]
D	rozteč přífukovacích trysek	[m]
D _k	průměr konfuzoru	[m]
d	průměr jádra příze	[m]
d ₀	průměr trysky	[m]
d _k	charakteristický příčný rozměr prohozního kanálu	[m]
dm	hmotný element útku	[kg]
d _u	průměr útku	[m]
dv _v	úbytek rychlosti proudění vzduchu v kanálu	[m.s ⁻¹]
E	kinetická energie útku	[kg.ms ⁻²]
F ₀	odpor odvíječe	[N]
F ₁	síla v balonu útku	[N]
F ₂	síla v útku před hlavní tryskou	[N]
F _t	tahová síla útku	[N]
F _T	odpor proti průletu útku prohozním kanálem	[N]

F_x	síla proudu vzduchu ve směru x	[N]
f	koeficient tření	[1]
	hmotnost délky materiálu	[kg.m ⁻¹]
Δh	výškový rozdíl v U-manometru	[m]
k_o	koeficient odporu odvíječe	[1]
M_o	hmotnost části útku v trysce	[kg]
M_1	hmotnost vzduchu proudícího za jednotku času výstupním průřezem trysky	[kg.s ⁻¹]
M_2	hmotnost vydechu strženého za jednotku času ze vzduchu v okolí do proudu	[kg.s ⁻¹]
M_u	hmotnost útku	[kg]
M_v	hmotnost proudu vzduchu	[kg.s ⁻¹]
M_{vz}	spotřeba vzduchu na jeden prohoz	[kg]
M_{vz}	spotřeba vzduchu na jednotkovou délku útku	[kg.m ⁻¹]
m	hmotnost závaží kyvadla	[kg]
m_1	hmotnost hřídele s vačkou	[kg]
l	délka útku obtékaného vzduchovým proudem	[m]
l_o	délka útku od očka ke vstupu do hlavní trysky	[m]
l_1	délka útkové trubice hlavní trysky	[m]
l_2	délka výstupní trubice hlavní trysky	[m]
l_b	délka útku od bubínku odměřovače k očku před hlavní tryskou	[m]
l_u	délka nitě v proudu vzduchu	[m]
O	odstředivá síla v balonu útku	[N]
P	atmosferický tlak	[Pa]
P_1	vstupní tlak do hlavní trysky	[Pa]
P_d	dynamický tlak	[Pa]
P_m	tlak v ose proudu vzduchu	[Pa]
P_p	přiváděný tlak do sekce přifukovacích trysek	[Pa]
P_r	tlak na hranici mezní vrstvy	[Pa]
P	pokles tlaku při prohozu	[Pa]
V	objem vzdušníku	[m ³]
V_2	rychlost druhotného vzduchu v okolí	[m.s ⁻¹]
V_m	maximální osová rychlost vzduchu	[m.s ⁻¹]
V_{t1}	rychlost vzduchu v útkové trubici	[m.s ⁻¹]

V_{t2}	výtoková rychlost z hlavní trysky	$[m.s^{-1}]$
V_v	rychlost proudu vzduchu	$[m.s^{-1}]$
V_{vs}	střední rychlost proudu vzduchu	$[m.s^{-1}]$
V_{po}	počáteční rychlost proudění vzduchu	$[m.s^{-1}]$
V_u	rychlost útku	$[m.s^{-1}]$
V_{sh}	střední rychlost vzduchu podle hybnosti	$[m.s^{-1}]$
V_{sm}	střední rychlost vzduchu podle množství vzduchu ve vzdálenosti x od h. trysky	$[m.s^{-1}]$
V_a	axiální složka rychlosti vzduchu	$[m.s^{-1}]$
V_r	radiální složka rychlosti vzduchu	$[m.s^{-1}]$
V_k	kritická rychlost vzduchu	$[m.s^{-1}]$
V_x, V_y, V_z	složkové rychlosti	$[m.s^{-1}]$
V_y	příčná úniková rychlost proudu vzduchu	$[m.s^{-1}]$
V_{Rv}	relativní rychlost proudu vzduchu	$[m.s^{-1}]$
R	plynová konstanta vzduchu	$[J.kg^{-1}.K^{-1}]$
R_o	poloměr hlavní trysky	$[m]$
R_1	vnější poloměr hlavní trysky	$[m]$
r_1	vnitřní poloměr hlavní trysky	$[m]$
Re_{lim}	limitní Reynoldovo číslo proudění vzduchu	$[1]$
x, y, z	souřadnice	
x', y', z'	souřadnice daného bodu	
S	plocha tělesa kolmo k proudění vzduchu	$[m^2]$
S_1	plocha průřezu konfuzoru	$[m^2]$
S_3	plocha příčného průřezu konfuzoru	$[m^2]$
S_t	plocha průřezu trysky	$[m^2]$
S_o	odporové síly působící proti zanášení nitě	$[N]$
T	teplota vzduchu ve vzdušníku	$[K]$
t	doba otevírání ventilu	$[ms]$
t_p	čas prohozu	$[s]$
Z	zdvih vačky	$[mm]$
σ	součinitel poklesu rychlosti proudu vzduchu	$[1]$
ε	úhel sklonu přifukovací trysky	$[^\circ]$
ε_o	konstanta pro danou trysku	
ν	úhel proudu vzduchu vystupujícího z přifukovací trysky směrem ke kanálu profilového paprsku	$[^\circ]$
ρ	hustota vzduchu	$[kg.m^{-3}]$
ρ_{voda}	hustota vody	$[kg.m^{-3}]$
ρ_{rtut}	hustota rtuti	$[kg.m^{-3}]$
	úhel pootočení vačky	$[^\circ]$

$\mathcal{H}$	Poissonova konstanta	[1]
β	činitel ztráty rychlosti vzduchu v prohozním kanálu	$[m^{-1}]$
$\mathcal{J}$	kinematická vazkost vzduchu	$[m^{-2} \cdot s^{-1}]$
μ	úměrná délková hmotnost	$[kg \cdot m^{-1}]$
$\mathcal{L}_0$	činitel tahu proudícího vzduchu na útek	[1]
ξ	odlehlost částic nosného vzduchu od trysky	[m]
β_1	činitel náběhu rychlosti útku	[1]
β_2	činitel odeznívání prohozní rychlosti	[1]
φ	úhel svírající mezi útkem a osou prohozu	[°]
ω	úhlová rychlost útku	$[s^{-2}]$
$\mathcal{K}$	rychlostní součinitel	[1]

Poznámka: Některé znaky použité v práci pouze na jednom místě jsou vysvětleny přímo u statě použití.

1. Úvod

Pro existenci lidstva lze říci, že nejdůležitější materiální potřeby jsou potraviny a oblečení. Tyto problémy hrají vždy aktuální roli ve všech dobách i v dnešní. Řešení otázky oblečení pro společnost na naší planetě má velký význam i pro konstruktéry textilních strojů.

Tkácí textilní stroje prošly dlouhou tradicí vývoje. Tímto vývojem bylo docíleno, že jsou v současné době lépe konstruovány a vybavovány modernějším zařízením, jak ukázaly poslední světové výstavy textilních strojů ITMA. Zde patřily pneumatické tkací stroje mezi perspektivní. Stroje s konfuzorem s nebo bez přífukovacích trysek, s profilovým paprskem a přífukovacími tryskami jsou toho času konstrukčními variantami pneumatického provozního systému. Varianta s konfuzorem se používá při menších šířkách tkacích strojů a je energeticky méně náročná, naopak při velkých šířkách se používá profilový paprsek, který je vhodnější vzhledem k praktické možnosti zvětšování provozní šířky strojů.

Hlavní teoretické problémy, které se vyskytují dosud v této oblasti, jsou otázky spotřeby tlakového vzduchu jak pro hlavní trysku, tak pro přífukovací trysky. Dále je to otázka rozložení dynamických tlaků ve všech průřezích kanálu profilového paprsku. Dalším problémem zůstává otázka postupného otevírání a zavírání přífukovacích trysek během jednoho provozu, nebo ponechání všech přífukovacích trysek otevřených během provozu. S tímto samozřejmě souvisí i problém časového náběhu přífukovací trysky na požadovaný tlak, tvary rozvodu tlakového vzduchu pro přífukovací trysky apod.

Bylo by žádoucí dopracovat se k matematickému modelu pohybových rovnic pro dráhu, rychlost a zrychlení útku při provozu. Zde je však určité množství faktorů, které nelze dosud dobře teoreticky ohraničit a bude třeba pravděpodobně sáhnout k praktickému stanovení určitých koeficientů, které by dotvořily teoretický model pohybu útku.

S těmito problémy se předložená práce zabývá v rámci možností přístrojové a výpočetní techniky na VŠST Liberec.

2. Současný stav problematiky se stanoviský disertanta

Nejstarší důkazy o existenci tkacího stavu ve svislém uspořádání pracovní roviny jsou ze čtvrtého tisíciletí před naším letopočtem. Byl to velmi jednoduchý způsob tkaní. Osnova byla zavěšena ve svislé poloze a napjata závažím. Člunek v podobě rybářské jehly na výrobu sítí nebo cívky se osnovou proplétal. Útek byl do tkaniny zatlačován tyčí nebo člunkem trojúhelníkového průřezu, později kostěnými hřebeny. Teprve ve 3. století našeho letopočtu se rozšířil po Evropě prošlupní mechanismus vynalezený v Číně. K podstatnému zlepšení funkce stavu došlo až v 18. století. V roce 1733 zavedl Angličan J. Kay tak zvaný létající člunek, který se prohazoval pomocí jednoduchého mechanismu. Později byly vynalezeny tři základní mechanismy pro tkací stavy - jsou to mechanismy pro vytvoření prošlupu, k prohození člunku a k přírazu útku. Ruční prohoz pak mohl být nahrazen motorovým. Dalším významným zdokonalením tkacího stavu bylo vynalezení samočinného zastavování stavu v případě nedoletu člunku - "člunková zarážka" nebo "útková zarážka", která zastaví stav při přetržení nebo spotřebování útku.

Vyvrcholením vývoje tkacího stavu byl přínos vynálezce J.H. Northropa USA, který v roce 1889 sestrojil automatickou výměnu útkových cívek za chodu stroje. Čím dále, tím více se stav zdokonaluje kontrolními a automatizačními systémy. Například osnovní zarážka, samočinné regulátory k popouštění osnovy, nabalování zboží, krabicové zásobníky, soukání útku přímo u stavu atd. Současná doba je charakterizována nástupem elektroniky a samočinných počítačů do textilního průmyslu. Mechanické systémy jsou postupně nahrazeny elektronickými zarážkami. Existuje řízení prošlupního zařízení magnetofonovým páskem. Elektronika se také prosazuje do pracovních mechanismů například u spojky, brzdy, v prošlupném ústrojí a dokonce v prohozním ústrojí. Dosavadní postup vývoje naznačuje, že elektronika a výpočetní technika budou sloužit nejen ke kontrole a zajištění funkce jednotlivých mechanismů, ale také k samočinné regulaci výrobního procesu.

V historii vývoje textilního průmyslu byl velký úspěch při vzniku bezčlunkového tkalcovského stroje. Člunek pro stavy s automatickou výměnou cívek je těžší než pro mechanické stavy (asi o 100 až 150 g), protože musí být pevnější, rozměrově přesnější, a jeho armatura je těžší. Větší hmotnost člunku však omezuje rychlost stavu. Člunkové stavy s dosavadním typem člunků se zřejmě blíží k hranici možného výkonu. Pro tkaní více barvami je člunkový stav složitější a musí pracovat s nižšími otáčkami. Dalším nepříznivým činitelem je hlučnost člunkového prohozu, který při dnešních rychlostech již přesahuje povolené normy.

Bezčlunkové stavy jako celek přinesly podstatné výhody:

- odstranění soukání útku a plnění zásobníků útkových cívek, tedy snížení pracnosti při tkaní,
- snížení hmotnosti zanášeče (kromě tkacích strojů jehlových) - to umožňuje zvýšení rychlosti tkaní a snížení hlučnosti,
- možnost barevné záměny útků, tato v podstatě neomezuje rychlost tkaní.

První alternativa bezčlunkového tkacího stavu byl jehlový tkací stav. Druhá alternativa je skřipcový tkací stroj (těleso se skřipcem pro zachycení útku o váze 50 až 100 g). Třetí alternativa je zanášení útku proudem vzduchu nebo vody. Vzduch a voda jsou nejlevnější pracovní media, která se zatím dnes používají.

Další vývoj tkacích strojů jsou stroje víceprošlupní a pletenotkací. Výkon jednoproslupních tkacích stavů je omezený, protože jednotlivé fáze pracovního procesu - to je prošlup, prohoz a příraz - musí následovat postupně za sebou. Hlavní pracovní operace - zanášení útku - je tedy realizována pouze v intervalech - přetržitě. Nepřetržitě zanášení útku na víceprošlupním tkacím stroji není nová myšlenka (19. století).

Tento princip umožňuje jednak teoreticky dále zvyšovat výkon tkacího stroje nad meze jednoproslupových tkacích strojů, jednak mění do jisté míry i způsob vytváření tkaniny.

2.1 Přehled problematiky prohozu na bezčlunkovém stavu všeobecně a zejména na pneumatickém stavu.

Rozdílem mezi člunkovým stavem a bezčlunkovým stavem je způsob zanášení útku. Na bezčlunkovém stavu se útek zanáší do prošlupu místo člunku skřipcem, jehlou nebo proudem pracovního media. V předchozí části jsme hovořili, že v dnešní době zatím nejpoužívanější voda a vzduch. Použití hydraulického prohozu je převážně omezeno na hydrofobní materiály, rovněž pracovní šířku těchto strojů nebude možno příliš zvětšovat.

Naproti tomu pneumatický prohoz má širší oblast využití (materiálu) a jeho použitelnost se dále zvětšuje. Zavedením série pomocných trysek bylo umožněno zvětšení pracovních šířek těchto strojů. Vzduch má řádově stokrát nižší viskozitu než voda. Proto je nutné k vytvoření potřebného tahu v útku pracovat podstatně vyšší rychlostí. Proud vzduchu ve volném prostoru strhává s sebou okolní vzduch, proto ztrácí poměrně na krátké dráze svou rychlost. První československé pneumatické stavy byly v roce 1952 vyráběny v pracovní šíři 45 cm. Otázka zvětšení pracovní šířky pneumatického tkacího stroje je vždy podstatná.

2.2 Rozbor funkcí elementů při prohozu útku na pneumatickém stavu

Při prohozu tryskou je útek unášen proudem vzduchu. Relativní rychlost mezi proudem a útkem vytváří potřebný tah v útku k jeho zanášení. Tažná síla v útku není velká, proto nemůže být útek stahován přímo z křížové cívky, ale musí být předem připraven dávkovačem. Dávkovačem musí být uvolněna pouze určitá délka útku při prohozu. Tento dávkovač potom nazýváme odměřovačem útku.

Ke snížení rozptylu vzduchového proudu byla zkoušena různá zařízení např. kanály. Současně se pro zdokonalení

proletu útkem používá odsávací trubice.

Základní funkční elementy prohozu na pneumatickém stavu jsou tedy:

1. - odměřovač
2. - tryska
3. - prohozní kanál
4. - odsávací trubice

2.2.1. Odměřovač

Přesná funkce odměřovače závisí na množství odpadu útku. Proto odměřovač má velký ekonomický význam. Základní podmínky pro funkci odměřovače jsou:

- při odvíjení z cívky smí být útek jen minimálně nanáhan, bez jakýchkoliv rázů
- zařízení musí umožnit snadný odtah vytvořené zásoby útku
- průchod útku odměřovačem nesmí být členitý, aby v případě přetrhu útku bylo možné snadné navedení útku,
- útek se musí ze zásobníku odměřovače lehce stahovat bez rázů a při stejnoměrných tahových silách.

Po odtočení potřebné délky se musí odběr ze zásoby zablokovat. Vzhledem k měnící se šířce vyráběné tkaniny a při rozdílném setkání útku při různých vazbách a různých textilních materiálech musí být odměřovaná délka útku regulovaná. Odběr útku z křížové cívky může být přerušovaný nebo lépe plynulý.

2.2.2. Tryska

Jsou dva typy trysek - hlavní tryska

- pomocná (štafetová, přifukovací)
tryska

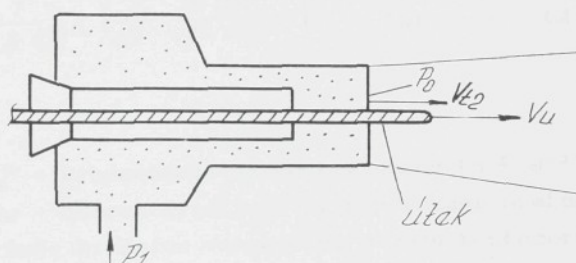
2.2.2.1 Hlavní tryska

Nejdůležitějším elementem vzduchového prohozního ústroje je hlavní tryska, která musí být konstruována tak,

aby splnila tyto hlavní požadavky:

- tryska musí dobře sejmut útek z odměřovače,
- tryska musí vytvořit v kanálu pohyb vzduchového pole a urychlit útek na požadovanou rychlost,
- tryska by měla mít malou spotřebu vzduchu a nesmí narušovat útek během prohozu,
- měl by být zajištěn snadný návlek útku do trysky,
- měla by být zajištěna nízká hlučnost trysky, při prohozu.

V současné době jsou různé typy hlavních trysek. Všeobecné grafické znázornění hlavní trysky je na obr. 2.1



obr. 2.1 - Hlavní tryska

Výtoková rychlost vzduchového proudu v_{t2} je funkcí přetlaku v trysce

$$v_{t2} = \varphi \cdot v_k \sqrt{1 - \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.1)$$

kde $v_k [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ je kritická (mezní) rychlost proudění v hlavní trysce, rovná se rychlosti zvuku prostředí hlavní trysky.

φ - činitel výtokové kvality hlavní trysky [1]

- $\mathcal{K} = 1,402$ - Poissonova konstanta [1]
 P_1 - vstupní tlak do hlavní trysky [Pa]
 P_0 - výstupní tlak těsně za hlavní tryskou [Pa]

Podle Noska (18) je nutný tlak pro donosnost A vzduchového proudu:

$$\frac{P_1}{P_0} > \frac{1}{\left[1 - e^{2\beta(A - A_{lim})} \right]^{\frac{\mathcal{K}}{\mathcal{K}-1}}} \quad (2.2)$$

kde:

$$A_{lim} = \frac{1}{\beta} \ln \left[\frac{\gamma}{dk} \frac{Re_{lim}}{\gamma - \gamma_k} \right] \quad [m] \quad (2.3)$$

γ - kinematická vazkost vzduchu [$m^2 \cdot s^{-1}$]

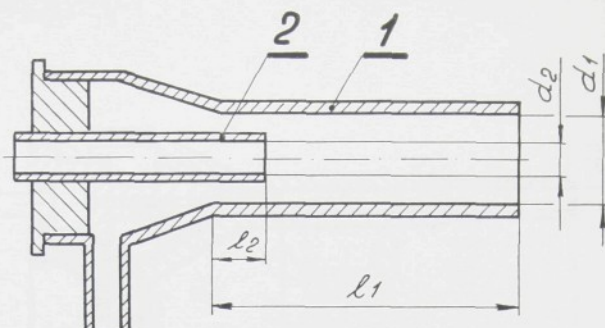
dk - charakteristický příčný rozměr prohozního kanálu (např. průměr kružnice vepsané do otvoru konfuzoru).

β - činitel ztráty rychlosti vzduchu v prohozním kanále [m^{-1}]

Re_{lim} - limitní Reynoldovo číslo proudění [1]

Podle tohoto výrazu nutný tlak P_1 v hlavní trysce stoupá s prodlužováním donosnosti proudu A progresivně, až by po určitou vzdálenost označenou A_{lim} dosáhl nevlastních hodnot.

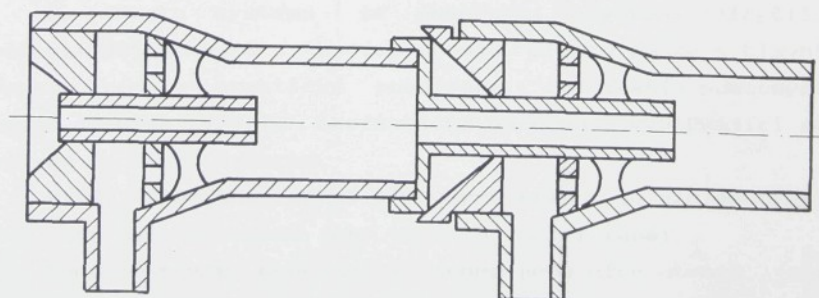
Na obr.2.2 jsou vyznačeny kritické parametry, které ovlivňují vlastnosti hlavní trysky



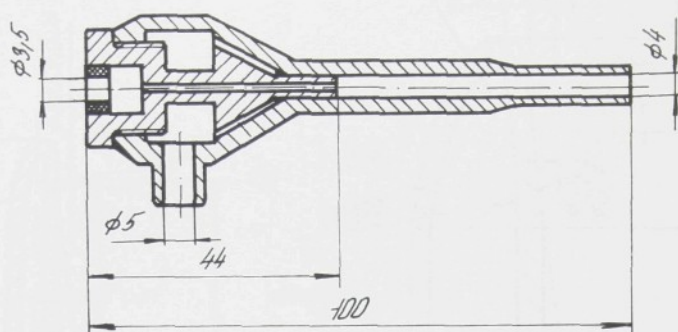
Obr.2.2 -Hlavní tryska s kritickými parametry

- 1 - vnější plášť hlavní trysky
- 2 - útková trubička hlavní trysky

U varianty s konfuzorem (bez štafetových trysek) se používá tryska s malou délkou l_1 a větším průměrem d_1 , kdežto u varianty s profilovým paprskem se používá tryska s větší délkou l_1 a menším průměrem d_1 . Taková tryska má pak poměr $l_1:d_1$ až 100:1. Je známo, že taková síla působící na útek zvyšuje se s délkou výstupní trubičky trysky až po určitou hodnotu, nad níž se vliv délky snižuje. Výstupní trubička trysky může mít tvar kuželovitý (zúžený nebo rozšířený) nebo válcový. Za účelem zvýšení tažného účinku prohozní trysky na zanášený útek při relativně nízké spotřebě prohozního media byla konstruována "duplexní" hlavní tryska, jak ukazuje obr.2.3



obr.2.3. Duplexní hlavní tryska



obr.2.4. Hlavní tryska výrobce Zbrojovka Vsetín

Podle jiného návrhu je přívodní kužel nahrazen několika trubičkami. Takové uspořádání umožňuje eliminovat nežádoucí vzruchy, zejména rotaci vzduchu působící na útek.

V disertační práci autor používal hlavní trysky výrobcem Zbrojovka - Vsetín. Základní konstrukce toho typu hlavní trysky je na obr.2.4.

2.2.2.2 Pomocná tryska

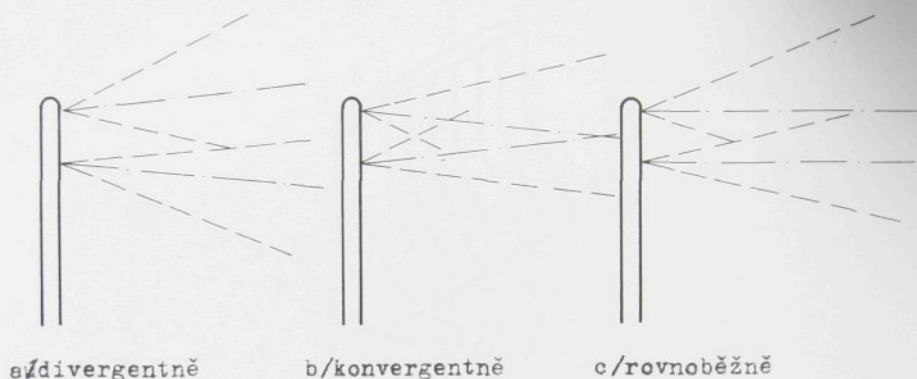
Pomocné trysky, nazývané též přífukovací nebo štafetové, se používají u vzduchového trysového prohozu buď s profilovým nebo rovinným paprskem, případně s konfusorem.

Po vzniku systému se pomocnými tryskami zlepšila spolehlivost prohozu u tkacích strojů. Stroje pouze s hlavní tryskou nejsou prakticky používány. Používáním pomocných trysek se však zvýšila energetická náročnost vyplývající ze zvýšené spotřeby vzduchu.

Další důležitou funkcí pomocných trysek je nadlehčování útku, aby bylo zmenšeno jeho tření o vodící kanál.

Pomocné trysky mohou mít jeden nebo více otvorů, jsou umístěny ve stejných intervalech nebo jsou postupně blíže za sebou ve směru k doletové straně. Jsou konstruovány různé tvary pomocných trysek, např. viz. obr. 2.5.





Obr. 2.6. pomocná tryska s dvěma otvory

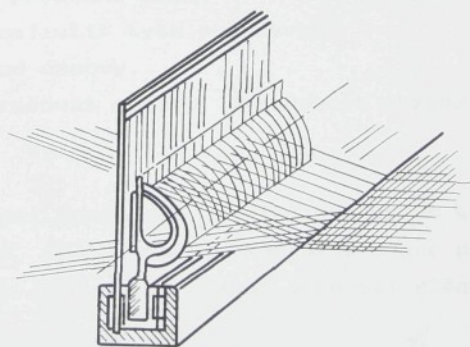
Pomocné trysky se dvěma otvory mohou být konstruované divergentně, konvergentně, nebo rovnoběžně, jak ukazuje na obr. 2.6.

2.2.3. Prohozní kanál

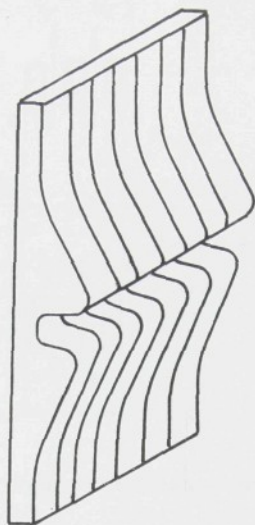
Ke snížení rozptylu vzduchového proudu jsou dva typické prohozní kanály:

a/ kanál, který se skládá z jednotlivých lamel (tzv. konfuzor) viz na obr. 2.7.

b/ kanál, který se skládá z jednotlivých profilových třtin (tzv. profilový paprsek) viz na obr. 2.8.



obr. 2.7. konfuzor



obr. 2.8. Profilový paprsek

2.2.3.1. Konfuzor

Konfuzor se skládá z velkého počtu lamel uložených hustě vedle sebe na bidlenu (československý patent) a je důležitým prvkem vzduchového prohozního ústrojí neboť:

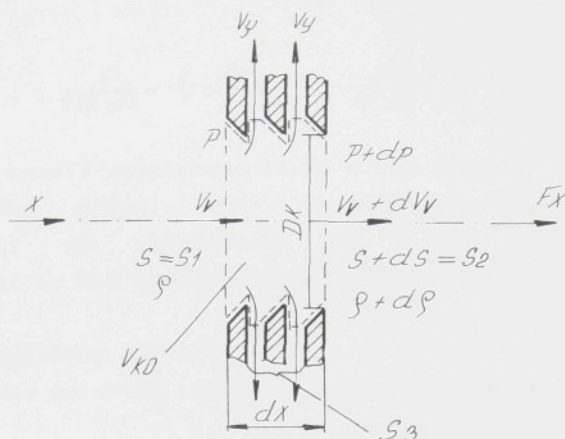
- konfuzor umožňuje soustředit proud vzduchu a zvyšovat donosnost

- zvyšuje prohozovanou délku útku,
- dovolí delší prohozní dobu.

Současně musí zajistit tyto požadavky:

- oddělí útek od osnovy,
- neměl by narušovat osnovu a způsobit chybný vazný bod v tkanině.

Vlastní řešení konfuzoru z hlediska dynamiky letu útku je složité. Hruš (9) posuzuje konfuzor jako průlinčitou trubici, složenou z lamel s danou drsností stěny viz.obr. 2.9.



obr.2.9. Kontrolní objem V_{k0} proudu vzduchu v části konfuzoru.

Z předpokladu, že proudění je nestlačitelné ($d\rho=0$). Z rovnice kontinuity pro konfuzor (pro $S_1=S_2$):

$$\rho S_1 V_v - \rho S_1 (V_v + dV_v) = \rho S_3 V_y \quad (2.4.)$$

bude po úpravě :

$$V_y = - \frac{S_1}{S_3} dV_v \quad (2.5.)$$

kde : V_y - příčná úniková rychlost proudu vzduchu $[m.s^{-1}]$

S_1 - plocha průřezu konfuzoru $[m^2]$

S_3 - plocha příčného průřezu konfuzoru $[m^2]$

Úbytek rychlosti dV_v ve směru x podle délky konfuzoru je :

$$- dV_v = \frac{2 F_x}{\pi D_k^2 S V_v} \quad [m.s^{-1}] \quad (2.6.)$$

kde: F_x - síla proudu vzduchu ve směru x $[N]$

D_k - průměr konfuzoru $[m]$

ρ - měrná hmotnost vzduchu $[kg.m^{-3}]$

V_v - Rychlost proudu vzduchu v směru x $[m.s^{-1}]$

Takže ztráta rychlosti dV_v je přímo úměrná síle proudu F_x a nepřímo úměrná kvadrátu průměru konfuzoru D_k^2 , rychlosti proudu V_v a měrné hmotnosti vzduchu. Součinitel tření f_p proudu u stěny konfuzoru je dán výrazem:

$$f_p = - \frac{1}{8W^3} \frac{d}{dx} \left(\frac{D_k}{2} dp + \frac{2Fx}{\pi D_k} \right) \quad (2.7.)$$

kde: dp - rozdíl statického tlaku v ose proudu [Pa]

Výsledek měření (26) rychlosti proudu vzduchu v závislosti na vzdálenosti od trysky dokazují, že nejvhodnější by byl konfuzor kuželovitě se rozšiřující.

2.2.3.2. Profilový paprsek

Konfuzor má svoje negativní vlivy na útek a osnovu:

- může zadržet útek svým povrchem, je-li pokryt olejem či vodou, nebo jeho povrch není hladký, nebo je-li průměr konfuzoru malý, u plastických konfuzorů může působit také elektrostatika.

- ovlivňuje napětí útku v prošlupu,

- může nadzvednout osnovní nit, tím může způsobit chybný vazný bod nebo nedolet, dále se může vyvléknout útek z konfuzoru předčasně.

- při vnikání konfuzoru do osnovy mohou lamely narušit jednotlivé kapiláry osnovních nití. To se projevuje především u bezzákrutových hedvábných nití nebo u hedvábných nití s nízkým zákrutem.

- při vnikání konfuzoru do osnovy může svou špičkou nadzvednout nitě spodního prošlupu, což vede k vezební chybě.

- u některých vláken (např. skleněných) může konfuzor způsobit řádkování, to je viditelné pruhy po osnově, tuto chybu může ovlivňovat i vzájemná poloha lamely a třiny

- u staplových nití zvyšuje oděr osnovy a tím prašnost v tkalcovně.

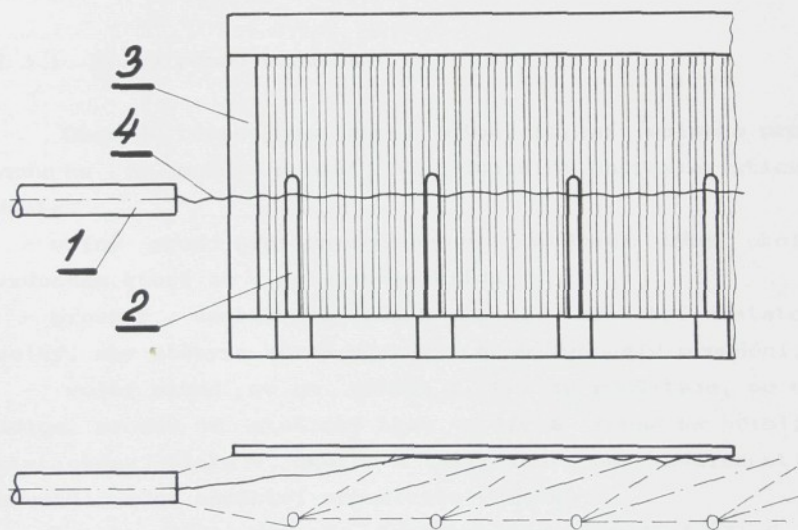
Z uvedených rozborů vyplývá, že úloha konfuzoru je velmi důležitá. Kromě konfuzoru ještě byla konstruována různá zařízení a prováděny různé zkoušky. V roce 1929 vynalezl Ballon vnější kanál vytvořený z profilových lamel paprsku. Tryskový stav Maxbo (Švédsko) má kanál podobné konstrukce, ale složený z dřevěných lišt, které jsou upevněny na nosníku paprsku spolu s paprskem vytvářející

kanál trojúhelníkového průřezu. V současné době je nejčastěji používán profilový paprsek, jak ukazuje na obr.2.8.

Rozdíl od konfuzoru a prohozního kanálu s profilovým paprskem je nejen ve tvaru, ale hlavně ve způsobu průchodu vzduchu. Při prohozu útku s použitím profilového paprsku musí být, kromě hlavní trysky, ještě instalovány přífukovací trysky.

2.2.3.3. Prohoz podél rovinného paprsku.

Jak ukazuje trend vývoje pneumatického prohozu, dalším možným pokrokem v tomto směru je studie pneumatického prohozu podél rovinného paprsku pomocí přífukovacích trysek.



obr.2.10. Prohozní systém podél rovinného paprsku

(1 - hlavní tryska, 2 - přífukovací tryska,
3 - profilový paprsek, 4 - útek)

S ohledem na energetickou náročnost má takový systém určité nevýhody. Na druhé straně je však výhodný z textilně technologického hlediska. Teoretická analýza proudění u rovinného paprsku je složitá záležitost a pouze pomocí

experimentu můžeme optimalizovat základní konstrukční a provozní parametry.

Schéma prohozního systému podél rovinného paprsku viz. obr. 2.10.

2.3. Teoretický a aplikovaný výzkum pneumatického prohozu a pohybu útku ve vzduchovém proudu.

Když se v 50. letech začal rozvíjet průmyslový výzkum pneumatického prohozu, vznikla k tomu také řada teorií. Ve srovnání se současnou technickou úrovní pneumatického prohozu tkacích strojů je velmi málo teoretických poznatků. Podrobně jako v jiných odvětvích se však teoretická vyšetření daného problému jen málo podílela na zdokonalování těchto strojů.

2.3.1. Volný proud vzduchu.

Obecná teoretická řešení úlohy šíření volného proudu vzduchu je možno popsat následujícími charakteristickými znaky:

- volný proud není omezen pevnými stěnami, nýbrž okolním vzduchem, který je v relativním klidu,
- prostor, do kterého vzduch proudí, musí být dostatečně velký, aby stěny a různé překážky neovlivňovaly proudění,
- volný proud se po výfuku z trysky rozšiřuje, po celé délce proudu je statický tlak stálý a rovná se přibližně statickému tlaku v okolí, v závislosti na vzdálenosti se neustále mění množství proudícího vzduchu,
- osa proudu je při izotermickém proudění přímá, při neizotermickém se zakřivuje,
- hybnost proudu je v celém průběhu stálá

$$M_v V_v = \text{konstanta} \quad (2.8.)$$

kde : M_v - hmotnost proudu vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

V_v - rychlost proudu vzduchu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Vyplývá to ze základního zákona mechaniky o rovnosti

časového impulsu a změny hybnosti. Protože se přiváděný primární vzduch směřuje se vzduchem sekundárním strženým z okolí, určí se výsledná hybnost jako součet obou hybností dle rovnice:

$$M_1 V_{po} + M_2 V_2 = (M_1 + M_2) V_{sh} \quad (2.9.)$$

kde: M_1 - hmotnost vzduchu proudícího za jednotku času výstupním průřezem trysky $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$

M_2 - hmotnost vzduchu strženého za jednotku času ze vzduchu v okolí do proudu $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$

V_{po} - rychlost ve výstupním průřezu $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

V_2 - rychlost druhotného vzduchu v okolí $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

V_{sh} - střední rychlost vzduchu podle hybnosti; obvykle je vzduch v místnosti v klidu a platí $M_2 \cdot V_2 = 0$.

Rovnice (2.9.) lze potom upravit takto:

$$M_1 V_{po} = (M_1 + M_2) V_{sm} = M_x V_{sh} \quad (2.10)$$

kde: $M_x = (M_1 + M_2)$ - celková hmotnost vzduchu proudícího ve vzdálenosti x od čela trysky $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$

V_{sm} - střední rychlost vzduchu podle množství ve vzdálenosti x od trysky $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

Vzdušné proudy mění své vlastnosti podle vzdálenosti od čela trysky, podle autora Ishida (10) je maximální osová rychlost vzduchu vypočítaná vztahem:

$$V_m = V_{po} \frac{1}{x} \quad (2.11.)$$

Podle Abramoviče (20) platí:

$$V_m = V_{po} \cdot \frac{0,96}{\frac{0,0X}{R_0} + 0,29} \quad (2.12.)$$

kde: V_m - maximální osová rychlost proudu vzduchu $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

V_{po} - počáteční rychlost proudu vzduchu $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

R_0 - poloměr trysky $[\text{m}]$

x - vzdálenost odečtená od čela trysky [m]

a_0 - experimentálně stanovený koeficient (pro
válnovou trysku bez úkosu na konci = 0.07 - 0.08)

Volný proud pro válcovou trysku bez úkonu na konci,
můžeme rozdělit na čtyři oblasti. Schema jsou znázorněna na
obr.2.11 a obr.2.12.

Abramovič při odvození své teorie o volném proudu
nazval první oblast počátečním úsekem pro určení délky jádra
u vzdálenosti pólu P od čela kruhové trysky, stanovil tyto
závislosti.

$$X_j = d_0 \frac{0,335}{a_0} \quad [m] \quad (2.13)$$

$$X_p = d_0 \frac{0,145}{a_0} \quad [m] \quad (2.14.)$$

kde: d_0 - průměr trysky

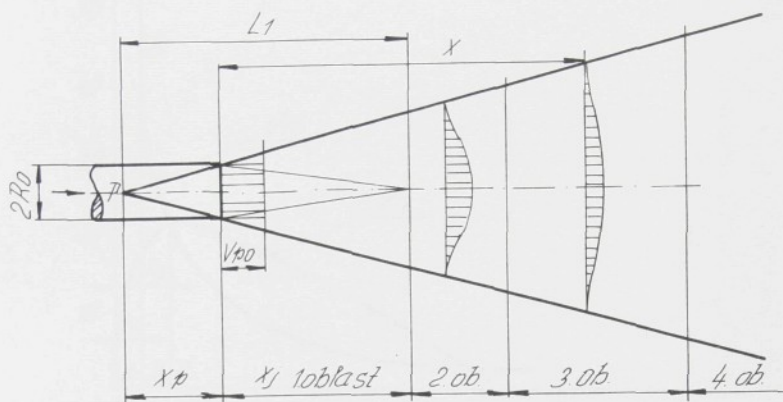
Druhá oblast: přechodný úsek je poměrně krátký a sahá
přibližně do vzdálenosti 8. d_0 od čela trysky

Třetí oblast: Tato oblast má největší význam pro technickou
práci. Délka této oblasti závisí na velikosti počáteční
rychlosti, na tvaru průřezu trysky a na rozměrech, prostoru,
do něhož je přiváděn vzduch. Pro kruhové trysky sahá od 8. d_0
do vzdálenosti 25 až 100. d_0 .

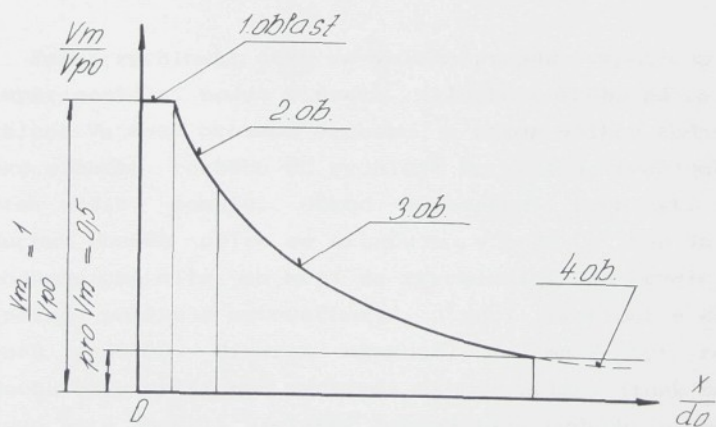
Maximální osová rychlost se mění podle vztahu:

$$\frac{V_m}{V_{p0}} = F\left(\frac{1}{\lambda}\right) \quad (2.15.)$$

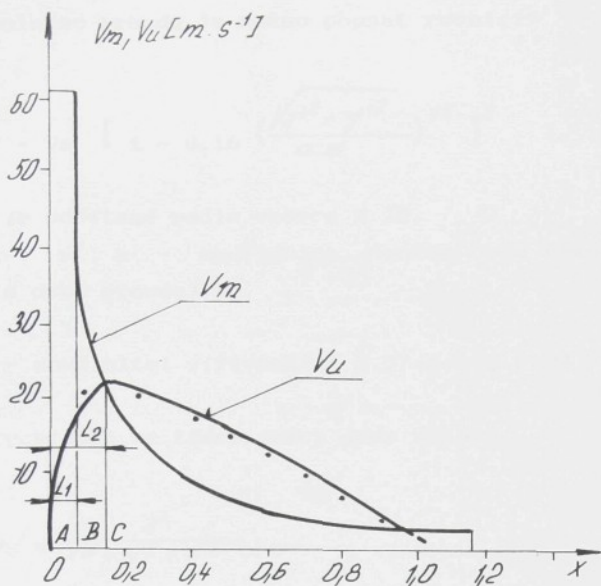
Čtvrtá oblast: proudu je krátké pásmo, ve kterém maximální
rychlost proudu klesne pod 0.5 [m.s⁻¹] t. j. střední rychlost
klesne na hodnotu kolem 0.15 [m.s⁻¹]. Proud se postupně
rozptýlí, součinitel stanovený při běžných rychlostech
v tomto pásmu již neplatí.



obr. 2.11. Schema rozděleného volného proudu vzduchu



obr. 2.12. Schema závislosti poměrné osové rychlosti na odlehlosti v různých oblastech volného proudu.



obr. 2.13. Závislost rychlosti vzduchu $V_v = F(x)$
a rychlosti útku $V_u = F(x)$.

(L_1 - úsek silného rozběhu, L_2 - celý úsek rozběhu)

Na obr. 2.13. je znázorněna závislost $V_v = F(x)$ odpovídající vzorci (2.12.) a rovněž graf rychlosti útku $V_u = F(x)$ podle Pilipenkové (20).

Změna rychlosti útku ve volném proudu (vypočtená křivka a experimentální body) v úseku silného rozběhu má relativní rychlost V_R mezi proudem vzduchu a útkem velkou hodnotu. Na úseku slabého rozběhu BC rychlost V_R klesá, rychlost příze roste avšak pomalu, dokud nedosáhne rychlosti proudu vzduchu. Rozběh příze se ukončuje v bodě C, kde $V_m = V_u$. Aerodynamická síla se mění ze zrychlující na brzdící. Dále se příze pohybuje setrvačností, ztrácí rychlost v důsledku odporů vzduchu. Diagram ukazuje, že musí být rychlost vzduchu vždy vyšší než rychlost útkové příze, jinak se pohyb útkové nitě zpomalí, jelikož tahová síla vzduchu na přízi je způsobena třením mezi proudem vzduchu a nití. Je velmi důležité znát diagram rozdělení rychlosti podle vzdálenosti od trysky a účinný rozsah hnací síly.

Teoretická rychlost proudu vzduchu v různých bodech

kužele volného proudu je možno popsat rovnicí:

$$V = V_m \left[1 - 0,16 \left(\frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{a z'} \right)^{15} \right]^2 \quad (2.16.)$$

kde: V_m je počítané podle vzorce 2.12.

x' , y' , z' - souřadnice daného bodu (osa z' je totožná s osou proudu).

a - součinitel vířivosti ($0,07 \leq a \leq 0,08$)

Složky rychlosti ve třech osách dány vztahy:

$$\begin{aligned} V_{x'} &= \frac{x'}{x'^2 + y'^2 + z'^2} \\ V_{y'} &= \frac{y'}{x'^2 + y'^2 + z'^2} \\ V_{z'} &= \frac{z'}{x'^2 + y'^2 + z'^2} \end{aligned} \quad (2.17.)$$

Rychlost v ose proudu v hlavním úseku v různých vzdálenostech od ústí trysky pro případ proudění v konfuzoru byl popsán empirickou rovnicí (20):

$$V = \frac{0,925}{z'^2} + (2,8593 z' - 8,0)^2 + z' \quad (2.18.)$$

Podobně průběh rychlosti v ose volného proudu může být popsán rovnicí:

$$V = \frac{13}{3z' + 1} \quad (2.19.)$$

$$V = V_0 e^{-\sigma z'} \quad (2.20.)$$

kde : δ - součinitel poklesu rychlosti proudu

Podle práce (20) pro volný symetrický proud platí:

$$Pr < Po < Pn \quad (2.21)$$

Kde : Pn - tlak v ose proudu [Pa]

Pr - tlak na hranici mezní vrstvy [Pa]

Po - atmosferický tlak [Pa]

Práce (9) popisuje volný proud jako rotačně symetrický případ následujícími rovnicemi pro axiální a radiální rychlost proudu:

$$V_a = \frac{3}{8\pi} \frac{K}{\varepsilon_0 z^2} \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4} z^2\right)^2} \quad (2.22.)$$

$$V_r = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \frac{\sqrt{K}}{z^3} \frac{\left(2 - \frac{1}{4} z^2\right)}{\left(1 + \frac{1}{4} z^2\right)^2} \quad (2.23.)$$

$$z = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \frac{\sqrt{K}}{\varepsilon_0} \frac{y'}{z^3} \quad (2.24)$$

kde : V_a a V_r jsou axiální a radiální složkové rychlosti

z - osa totožná s osou proudu.

ε_0, K - konstanty pro danou trysku.

Dále K se označuje jako impulsní konstanta

$$K = 2\pi \int_0^\infty V_a^2 y' dy' \quad (2.25.)$$

Na rozdíl od práce (20) jsou zde radiální a axiální složky vyjádřeny zvláštními rovnicemi. Rovnice (2.12.) nikdy nedosahuje záporné hodnoty, kdežto radiální složka daná rovnicí (2.23.) dosahuje záporné hodnoty v okrajových oblastech kužele proudu. Tím rovnice (2.23.) odpovídá skutečnosti a podmínkám daným rovnicí (2.21.).

2.3.2. Teoretické řešení pohybu útku ve vzduchovém proudu

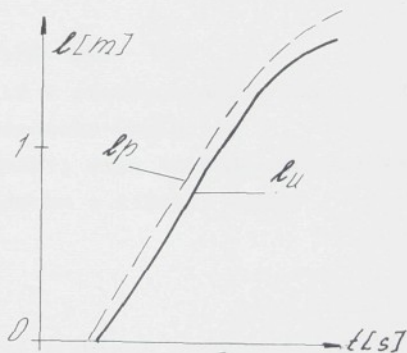
2.3.2.1. Tahová síla útku

V průmyslovém výzkumu byly zavedeny termíny čelo útku a čelo proudu, jejichž význam je patrný z obr. 2.14.



obr. 2.14. čelo útku a proudu

Z několika měření okanžitých vzdáleností l_p čela proudu a čela útku l_u je možno sestavit grafy v závislosti na čas (obr. 2.15.)



obr. 2.15. Dráha čel proudu a útku

Útek umístěný v proudu vzduchu považujeme za těleso, které je taženo silou. Tato síla závisí:

- na rozměru tělesa

- na charakteru povrchu tělesa
- na měrné hmotnosti vzduchu.

Tato síla je vyjádřena vztahem:

$$F_t = 0,5 C_R V_v^2 S \xi \quad [N] \quad (2.26)$$

kde: C_R - koeficient odporu funkce Reynoldsova čísla, drsnosti povrchu a hladiny turbulence [1].

V_v - rychlost proudu vzduchu $[m.s^{-1}]$

S - plocha tělesa promítnutá kolmo k proudění vzduchu $[m^2]$

ξ - hustota vzduchu $[kg.m^{-3}]$

Síla, působící na část nitě v proudu vzduchu, byla zjišťována experimentálně v závislosti na tlaku a materiálu nitě. Pilipenkova uvádí výpočet pro pohybující se nit v proudu vzduchu:

$$F_t = 0,5 C_R \xi [V_v(x) - V_u]^2 d_u l_u \quad [N] \quad (2.27.)$$

kde: C_R - koeficient čelního odporu v podélném vzduchu [1]

$V_v(x) - V_u$ - relativní rychlost mezi proudem vzduchu a útkem $[m.s^{-1}]$.

d_u - průměr nitě $[m]$

l_u - délka nitě v proudu vzduchu $[m]$

ξ - hustota vzduchu $[kg.m^{-3}]$

Fletcher (10) měřil sílu u řady různých přízí uložených podélně v proudu vzduchu a zjistil vztah:

$$F_t = K d V_v^2 \quad (2.28.)$$

kde: F_t - tahová síla proudu vzduchu $[g.cm^{-1}]$

d - průměr jádra příze $[m]$

V_v - rychlost proudu vzduchu $[m.s^{-1}]$

k - koeficient závisející na druzích příže

Vztah (2.28.) platí pro případ $V_v > 18.3 [m.s^{-1}]$

Pohybuje-li se útek v proudu vzduchu, bude tahová síla

dána vztahem:

$$F_t = \zeta f d_u l_u (V_v - V_u)^2 \quad (2.29.)$$

kde: F_t - tahová síla proudu vzduchu [N]

ζ - hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

f - koeficient tření [1]

d_u - průměr útku [μm]

l_u - délka útku [m]

Podle pilipenkové (21) celková síla působící na útek délky l_u ve vzduchovém proudu je dána vztahem:

$$F_t = \frac{\pi d_u}{2} \int_0^{l_u} C_x (Re, M) \zeta(x) V_v^2(x) dx \quad (2.30)$$

kde:

$$Re = \frac{V_v d_u}{\nu} ; \quad M = \frac{V_v}{a_2}$$

ν - kinematická viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

a_2 - rychlost zvuku při dané $\rho(x)$ a teplotě $t(x)$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

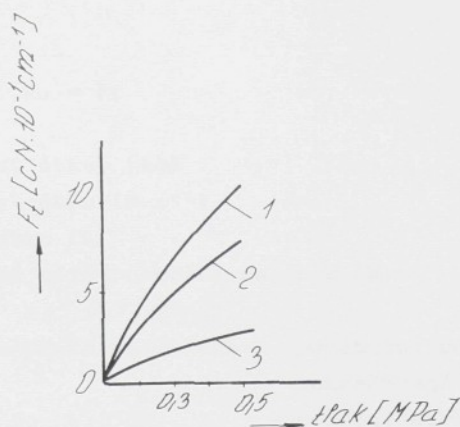
C_x - koeficient čelního odporu v podélném proudu vzduchu [1]

$V_v(x)$ - rychlost proudu vzduchu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]. Jestliže považujeme útek jako odstřížek pohybující se v proudu vzduchu, bude tahová síla působící na útek

$$F_t = 0,5 C_x \rho (V_v(x) - V_u)^2 \pi d_u l_u \text{ [N]} \quad (2.31.)$$

Z toho vyplývá, že tahová síla v útku je vytvořena třením pracovní látky o povrch útku a závisí na čtverci relativní rychlosti $V_{Rv} = (V_v(x) - V_u)^2$, na viskozitě pracovní látky, délce útkové nitě a jeho drsnosti. Se zvětšující se viskozitou se tahová síla zvyšuje. Tahová síla v útku je tím vyšší, čím je povrch útkové nitě drsnější.

Experimentální výsledky zkoušek prováděných v ústavu pro konstrukci textilních strojů Vysoké školy technické v Curychu (14) obr.2.16.



obr. 2.16. Tahová síla v závislosti na tlaku vzduchu.

(1 - bavlna 20 Tex, 2 - mercerovaná bavlna 20 Tex, 3 - hladké hedvábí 167 dTex)

Ukazují, jak závisí tahová síla, působící na útek při jeho zanášení, na tlaku vzduchu, na výstupu z trysky. Relativní rychlost mezi proudem pracovní látky a útkem je příčinou nepříznivého rozkrucování útku. Problém rozkrucování útku je vždy větší u vzduchového prohozu, protože při použití vzduchu je hodnota relativní rychlosti vyšší. Vysoká relativní rychlost vzduchu se vzhledem k rychlosti útku projeví zvláště tehdy, je-li útek v klidu, t. j. na začátku prohozu. To je příčinou ufouknutých útků.

2.3.3. Pohybová rovnice útku

Teoretické řešení vzduchového tryskového prohozu se poměrně dlouhou dobu vyvíjelo. Duxhumy, Lord, Vasvani (17) zkoumali základní problémy vzduchového prohozu a došli k závěru, že rozhodující úlohu zde hraje tryska.

Pilipenkova a kolektiv (21), (23) aplikovali rovnice Meščerského pro pohyb tělesa s měnící se hmotou na pohyb útku ve vzduchovém proudu:

$$M_u \frac{d\dot{x}}{dt} + \frac{dM_u}{dt} \dot{x}_u = F_t \quad (2.32.)$$

kde: M_u - hmotnost útku [kg]

$\dot{x}_u$ - rychlost útku [m.s⁻¹]

x - délka útku [m]

F_t - výsledná síla působící na útek [N]

Rovnice se řeší ve třech oblastech: - počáteční rozběh

- pokračování rozběhu

- brzdění útku

UNO Minory (16) podal ucelenější pohled na prohoz útku, ve kterém je zahrnut vliv odporových sil odměřovacích zařízení a prohozních kanálů.

Rovnice je uvažována ve tvaru:

$$\frac{d(M_u \dot{x}_u)}{dt} = \int dF_t - S_o \quad (2.33.)$$

kde: M_u - hmotnost útku [kg]

$\dot{x}_u$ - rychlost útku [m.s⁻¹]

dF_t - elementální tahová síla působící na útek [N]

S_o - odporové síly působící proti zanášení nitě [N]

V poslední době se řešením prohozu útku zabývali autoři Koloc (13) a Nosek (17). Profesor Nosek odvodil a použil k analýze Lagrangeovu rovnici II. řádu:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial E}{\partial \dot{x}_u} - \frac{\partial E}{\partial x_u} + F_o + F_T = F_t \quad (2.34.)$$

kde: E - kinetická energie útku [kg.m.s⁻²]

$$E = 0,5 (M_o + \gamma x_u) V_u^2(x_u) \quad (2.35.)$$

$$F_o - \text{odpor odvíječe, } F_o = k_o V_u^2 \quad (2.36.)$$

F_T - odpor proti průletu útku prohozním kanálem [N]

$$F_T = C x_u V_u^2 \quad (2.37.)$$

F_t - tahová síla proudu vzduchu [N]

M_o - hmotnost části útku v trysce [kg]

γ - úměrná délková hmotnost [kg.m⁻¹]

x_u - délka útku [m]

V_u - rychlost útku [m.s⁻¹]

k_o - koeficient odporu odvíječe

C - koeficient odporu průletu útku prohozním kanálem

Tah proudícího vzduchu je dán integrálem dílčích sil podél obtékané délky x , t.j. podél útku, který zatím vstoupil do proudu vzduchu:

$$F_t = \mathcal{L}_o \int_0^x V_v^2(\xi) d\xi = V_{po}^2 \frac{\mathcal{L}_o}{2\mathcal{J}} (1 - e^{-2\mathcal{J}x}) \quad [N] \quad (2.38.)$$

kde: $\mathcal{L}_o$ - činitel tahu proudícího vzduchu na útek

V_{po} - počáteční rychlost proudění vzduchu [m.s⁻¹]

V_v - rychlost proudění vzduchu [m.s⁻¹]

ξ - odlehlost částic nosného vzduchu od trysky [m]

$\mathcal{J}$ - činitel poklesu rychlosti vzduchu v proudu [m⁻¹]

Pro prohoz pomocí přífukovacích trysek (aktivní prohoz) dostaneme řešením vztah pro rychlosti na koncích jednotlivých přífukovacích úseků. Spojitá analytická náhrada tohoto vztahu - kdy uvažujeme, že rychlost útku narůstá zcela plynule, se dá formulovat ve tvaru:

$$V_u^2 = V_{t2}^2 \cdot k \cdot e^{-\mathcal{G}_1 \frac{x}{D}} \cdot [1 - e^{-\mathcal{G}_2 \frac{x}{D}}] \quad [m.s^{-1}] \quad (2.39.)$$

kde: V_{t2} - výfukové rychlosti proudu z trysky [m.s⁻¹]

k - konstanta úměrnosti mezi kvadrátem rychlosti pohybu útku a nosného vzduchu

D - rozteč přífukovacích trysek [m]

$\mathcal{G}_1$ - činitel náběhu rychlosti útku

$\mathcal{G}_2$ - činitel odeznívání prohozní rychlosti útku

x - délka útku [m]

Každá tryska dofoukne jen do určité vzdálenosti.

$$A = \lambda_A \quad D \ll 1 \quad (2.40.)$$

kde: λ_A - činitel překrytí

l - pracovní šíře stroje

D - rozteč štafetových trysek

Vzdálenost A nazýváme akční zónou trysky.

Vstoupí-li útek do akční zóny N -té trysky, urychlí se tahem vzduchu F_T působící podél délky útku v akční zóně A :

$$\int_0^A dF = \int_0^A \alpha_0 v_u^2(x) dx \quad (2.41.)$$

$$F_T = \alpha_0 x_u v_u^2 \quad (2.42.)$$

kde: F_T - odpor proti průletu útku prohozním kanálem [N]

V dalším řešení autor zanedbává odpor odvíječe a setrvačný vliv úseku útku v trysce na počátku foukání.

Z uvedených teoretických prací pojednávajících o vzduchovém prohozu útku vyplývá, že popis pohybu útku diferenciálními rovnicemi neposkytuje dostatečné informace o skutečném pohybu útku v prošlupu. V současné době neexistuje publikace, která by shrnula veškeré poznatky o teorii vzduchového prohozu útku a vytvářela tak potřebný podkladový materiál pro konstruktéry, vývojové a výzkumné pracovníky. Z tohoto důvodu vyplývá, že je nutné se s problematikou dále zabývat.

2.3.3.1. Prohoz pomocí přifukovacích trysek

Dle práce (16) rychlost proudu štafetových trysek může být optimalizována a je 70 m.s⁻¹ při počáteční rychlosti proudu vzduchu z hlavní trysky 300 m.s⁻¹.

V práci (30) jsou uvedeny výsledky komplexních experimentů se štafetovými tryskami. Pro měření rychlostního profilu proudu vzduchu je v současné době používán laserový anemometr.

2.3.4. Spotřeba vzduchu při pneumatickém prohozu

Podle pilipenkové (20) u vzduchového rozvodu tkacího stroje dochází během prohozu k nestacionárnímu proudění vzduchu z trysky v důsledku toho, že nastává vyprazdňování vzdušníku při uzavření přívodním otvorem plochým šoupátkem. Autorka uvažovala izotermickou expanzi a odvodila vztah pro výpočet teoretické spotřeby vzduchu na jeden prohoz útku:

$$M_{vz} = \frac{p_1 V}{RT} [1 - e^{-c t_p}] \quad [\text{kg}] \quad (2.43.)$$

$$c_1 = \frac{\sqrt{RT} \, c \, S_t}{S_t} \quad [\text{s}^{-1}] \quad (2.44.)$$

kde: p_1 - vstupní tlak vzduchu do trysky [Pa]

V - objem vzdušníku [m^3]

R - plynová konstanta vzduchu [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

T - teplota vzduchu ve vzdušniku [K]

t_p - čas prohozu [s]

c - rychlostní součinitel [1]

S_t - plocha průřezu trysky [m^2]

V práci (28) je odvozen vztah pro výpočet spotřeby vzduchu na základě poklesu tlaku při prohozu, který ve zjednodušeném tvaru je popsán vztahem :

$$M_{vz} = \frac{V \Delta p}{RT} \quad [\text{kg}] \quad (2.45.)$$

kde: V - objem vzdušníku [m^3]

Δp - pokles tlaku při prohozu [Pa]

R - plynová konstanta ve vzdušniku [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

T - tepelná konstanta ve vzdušniku [K]

Déle je tento vytah upraven pro spotřebu vzduchu na jednotkovou délku útku:

$$\dot{M}_{vz} = \frac{M_{vz}}{l} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (2.46.)$$

kde : l - délka prohozního útku [m].

Práce analyzuje nejen spotřebu vzduchu na jednotkovou délku útku, ale také energii potřebnou pro stlačení vzduchu na jeden prohoz. Spotřeba vzduchu se pohybuje mezi $0.38 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}$ a $1.72 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}$ podle šířky, systému, potřebného tlaku apod., kdežto energie se pohybuje mezi $35 \text{ J} \cdot \text{m}^{-1}$ a $362 \text{ J} \cdot \text{m}^{-1}$.

2.4. Závěr

Prohoz útku s použitím profilového paprsku a přífukovacích trysek je jeden z velmi pozorovaných trendů vývoje pneumatického prohozu. Dynamická analýza proudění vzduchu i útku v prohozním kanálu profilového paprsku s přífukovacími tryskami je však velmi složitá ve své podstatě. Osvětluje otázky prohozu útku kanálem profilového paprsku, což je u současných tkacích strojů parametr určující další růst výkonů tkacích stavů.

3. Cíl disertační práce

Problematika tvorby a stability proudu vzduchu v kanálu profilového paprsku pneumatického tkacího stroje vytvořeného hlavní tryskou a pomocnými přífukovacími tryskami je v současné době aktuálním tématem ovlivňujícím zásadně výkon pneumatických tkacích strojů.

Proudění vzduchu v profilovém kanálu je velmi komplikovaná záležitost, jedná se o proudění v profilovém kanálu s porézními stěnami, zajistěné nejen hlavní tryskou ale i přífukovacími tryskami. Od přífukovacích trysek nevychází stejný proud vzduchu, protože se nedaří z hlediska výroby zajistit jejich naprosto stejnou kvalitu.

Cílem disertační práce je tedy sledování problematiky prohozu útku na pneumatickém bezkonfuzorovém tkacím stroji a proudění vzduchu v jeho profilovém kanálu.

V práci bude sledováno především:

- 1 - Rozložení tlakového pole v průřezu kanálu a v různých vzdálenostech od přífukovací trysky v profilovém paprsku s ohledem na nastavení přífukovací trysky a v závislosti na velikosti tlaku vzduchu před přífukovací tryskou.
- 2 - Na základě získaných poznatků o proudu vzduchu v kanálu profilového paprsku analyzovat pohyb útku při prohozu v kanále. Pokusit se o matematický popis pohybu útku v proudu vzduchu.
- 3 - Experimentální rozbor náběhu proudu vzduchu v kanále od hlavní trysky i přífukovacích trysek, zejména s ohledem na doby otevření ovládacího ventilu a doby náběhu maximální rychlosti proudu vzduchu v kanále.

4. Zvolené metody zpracování

Textilní průmysl je nesmírně starým odvětvím s velkým množstvím poznatků, které vyplynuly především z tisícileté praxe.

Teprve v posledních desetiletích jsou tyto poznatky podrobovány analýze, výsledky těchto analýz jsou pak synteticky skládány, vytvářena nová řešení, nové teorie a opět prošetřovány v praxi, která je kritériem poznání.

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, vytknul jsem si za cíl sledovat problematiku prohozu útku na pneumatických tkacích strojích s profilovým paprskem, hlavní tryskou a přifukovacími tryskami. Při zkoumání problematiky byly využity všechny potřebné a dostupné prostředky dosažitelné jak na VŠST - Liberec, tak i z Výzkumného ústavu textilních strojů Liberec, aby analýza problému a následná syntéza i matematická formulace odpovídaly současné úrovni techniky.

Z hlediska použitelných metod zpracování daných technickými možnostmi školícího pracoviště a výzkumných ústavů byly za základ použity:

a) experimentální metody, jejichž cílem bylo:

- měření dynamického tlakového pole v kanálu profilového paprsku pomocí Pittotovy trubice s průměrem sondy 1 mm
- měření tahové síly pomocí polovodičového tensometru
- měření doby otevření ventilu a náběhu tlaku v kanálu profilového paprsku pomocí křemíkového snímače s osciloskopem

b) matematické metody, jejichž cílem bylo:

- sestavení prostorového rozložení dynamického tlaku v kanálu pomocí metody Statgraf na počítači

- sestavení pohybové rovnice útku v proudu vzduchu a její řešení metodou Runge - Kutta na počítači.
- přepočítání některých veličin řešeno pomocí analytického nebo numerického způsobu.

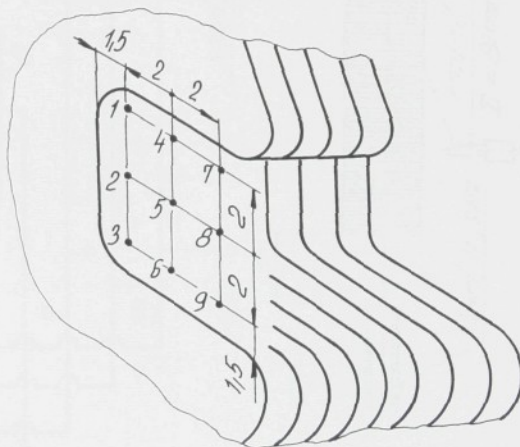
Veškerá měření byla provedena na upraveném a nezatkaném pneumatickém tkacím stavu P165, umístěném na školícím pracovišti KTS - VŠST s profilovým paprskem s hlavní a přífukovacími tryskami.

5. Tlakové pole v prohozném kanálu profilového paprsku s vlivem přífukovací trysky.

5. 1. Způsob měření

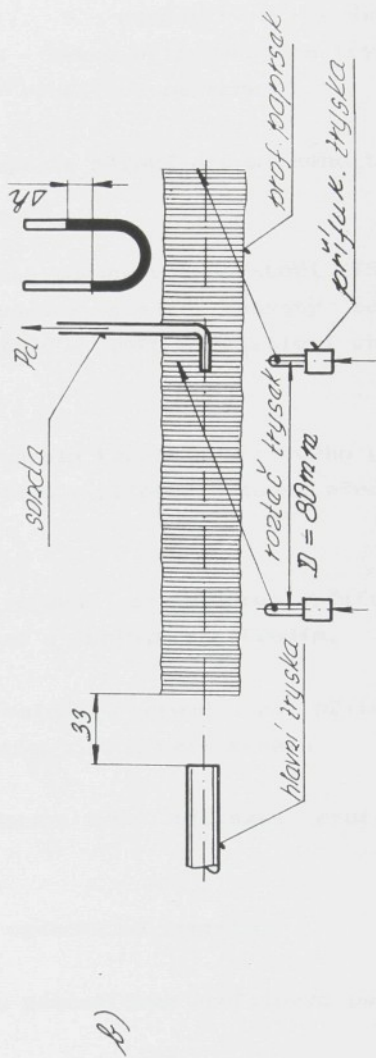
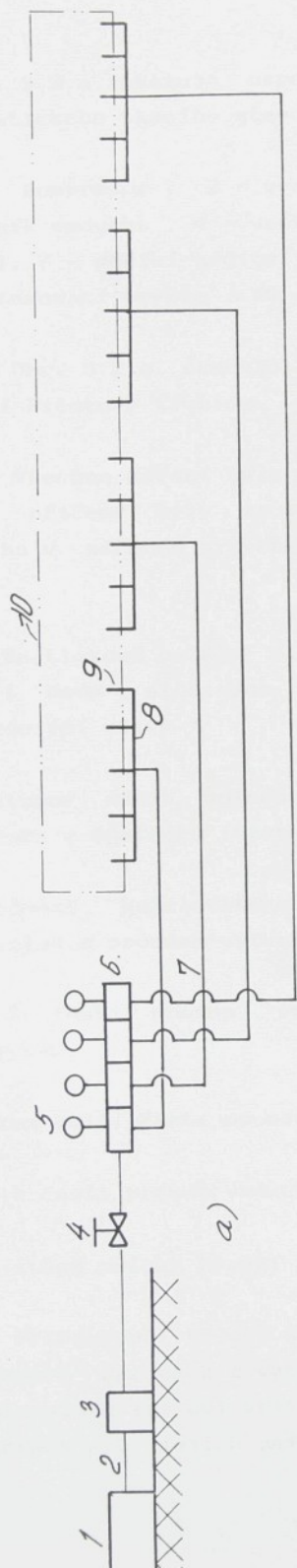
Při prohozu útku s profilovým paprskem pracuje hlavní tryska jako vkládací. Přífukovací trysky naplňují vzduch v kanálu a tím nesou útek na celé šíři tkacího stavu .

V předložené práci byly měřeny dynamické tlaky pomocí Pitotovy trubice v průřezích podél kanálu profilového paprsku s účinkem přífukovací trysky. Průřez kanálu byl v příslušné rovině rozdělen na devět bodů, ve kterých bylo prováděno měření dynamického tlaku viz. obr. 5.1.



Obr. 5.1. Měřená místa (body) v kanálu profilového paprsku.

Celkové schéma měření je zobrazeno na obr. 5.2 a,b



Obr. 52. (a-b) uspořádání měřícího systému

Obr. 5.2.a ukazuje uspořádání měřicího systému u pneumatického tkacího stavu P.165 s profilovým paprskem, kde značí:

1 - kompresor , 2 - vedení tlakového vzduchu, 3 - zásobník vzduchu , 4 - ventil, 5 - manometr, 6 - redukční ventil, 7 - vodící hadice, 8 - sekce přifukovacích trysek, 9 - přifukovací tryska , 10 - profilový paprsek

Obr. 5.2.b. ukazuje způsob měření dynamického tlaku pomocí Pitotovy trubice.

Všechna měření byla realizována v laboratoři KTS na VŠST, přičemž byly zachovávány stejné hodnoty teplot vzduchu v měřeném prostředí: $t = 20^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost 60%.

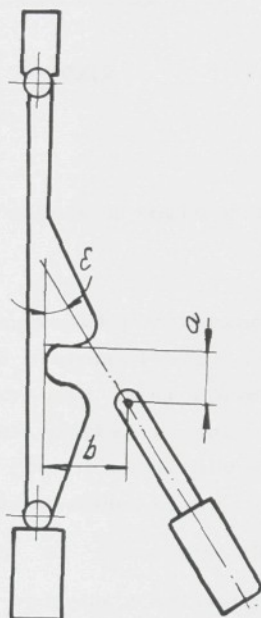
Na tlakové pole v prohozním kanálu profilového paprsku působí řada složitých vlivů, přičemž jsou předurčeny následující vlivy :

- postupný zánik volného proudu za otvorem přifukovací trysky v důsledku interakce s okolním prostředím,
- skládání kuželovitého volného proudu za přifukovací tryskou s proudem vytvořeným v prohozním kanálu,
- únik části proudu vzduchu mezi třtinami profilového paprsku,
- odraz další části proudu vzduchu od paprsku,
- únik části proudu vzduchu neuzavřeným profilovým paprskem,
- umístění polohy hlavní trysky a polohy přifukovací trysky.

Přifukovací tryska svými parametry se může vyskytovat v různých úpravách a vyrobené kvalitě. Jejím umístěním a směřováním lze ovlivnit výsledný efekt prohozu. Záleží na rozměrech a, b , jejich umístění vůči paprsku, úhlu sklonění ,

úhlu proudu vzduchu vystupujícího z přífukovací trysky směrem ke kanálu viz obr. 5.3.

Při výzkumu autor studuje vliv jedné přífukovací trysky na tlakové pole v kanálu profilového paprsku a to současně v závislosti na úhlu vystupujícího proudu vzduchu. Ostatní parametry se zachovávají. Na základě praktické zkušenosti výrobce jsou hodnoty : $a = 6,2 \text{ mm}$, $b = 12,8 \text{ mm}$, a úhel $\varepsilon = 22^\circ$.

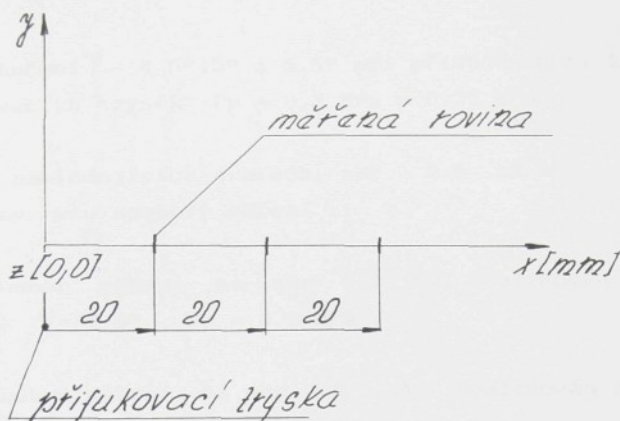


Obr. 5.3. Umístění přífukovací trysky vůči profilovému paprsku

Měření dynamických tlaků se provádí v měřených rovinách (y z), které jsou od sebe vzdáleny po 20 mm po délce profilového kanálu paprsku viz. obr. 5.4.

kde: x - totožná s osou prohozního kanálu
rovina (y z) - kolmá na osu x .

Při měření byly zkoumány dynamické tlaky s různým natočením úhlu proudu vzduchu vystupujícího z přífukovací trysky $V = 0^\circ \div 20^\circ$ po 5 - ti stupních. Přiváděný tlak P_p do sekce přífukovacích trysek byl nastavován v rozsahu od 0,25 Mpa do 0,4 Mpa po 0,05 Mpa



Obr. 5.4. Rozmístění měřených rovin v kanálu profilového paprsku.

Jelikož se jedná o velký počet naměřených hodnot, byly tyto uloženy na disketě mikropočítače na katedře KTS - VŠST Liberec s názvem "Trysky" pro další zpracování.

Jednotlivá měřená místa 1 až 9 v příslušných rovinách měření byla propojována, aby se lépe znázornilo prostorové rozložení dynamického tlaku.

Na obr. 5.5.a,b je znázorněn charakter tlakových poměrů a průběh proudu vzduchu z měřené přífukovací trysky do volného prostředí.

Po prvních zkouškách měření dynamického tlaku bylo zjištěno, že:

- dosah přífukovací trysky v kanálu profilového paprsku působí přibližně do vzdálenosti $120 \div 140$ mm,
- nejrovnoměrnější rozložení tlakového pole v kanálu a současně nejvyšší hodnoty jsou dosaženy při nastavení úhlu $\varphi = 5^\circ$.

Při ostatních hodnotách natočení ($\varphi = 0^\circ$ a $\varphi > 5^\circ$) gradient růstu dynamického tlaku není rovnoměrný. Pro podrobnější hodnocení autor věnoval pozornost sledování dynamického pole při

úhlu natočení $\gamma = 4,5^\circ, 5^\circ$ a $5,5^\circ$ při přiváděném tlaku do sekce přifukovacích trysek: $P_p = 0,3 \text{ MPa}$ a $0,35 \text{ MPa}$.

V následujících grafech obr. 5.6 až obr. 5.11 byly provedeny tyto soubory měření .

- Soubor měření na obr 5.6 byl realizován za těchto podmínek : $\gamma = 4,5^\circ$, $P_p = 0,3 \text{ MPa}$,

- Soubor měření na obr. 5.7 byl realizován za těchto podmínek : $\gamma = 4,5^\circ$, $P_p = 0,35 \text{ MPa}$,

- Soubor měření na obr.5.8 byl realizován za těchto podmínek : $\gamma = 5^\circ$, $P_p = 0,3 \text{ MPa}$,

- Soubor měření na obr. 5.9 byl realizován za těchto podmínek : $\gamma = 5^\circ$, $P_p = 0,3 \text{ MPa}$,

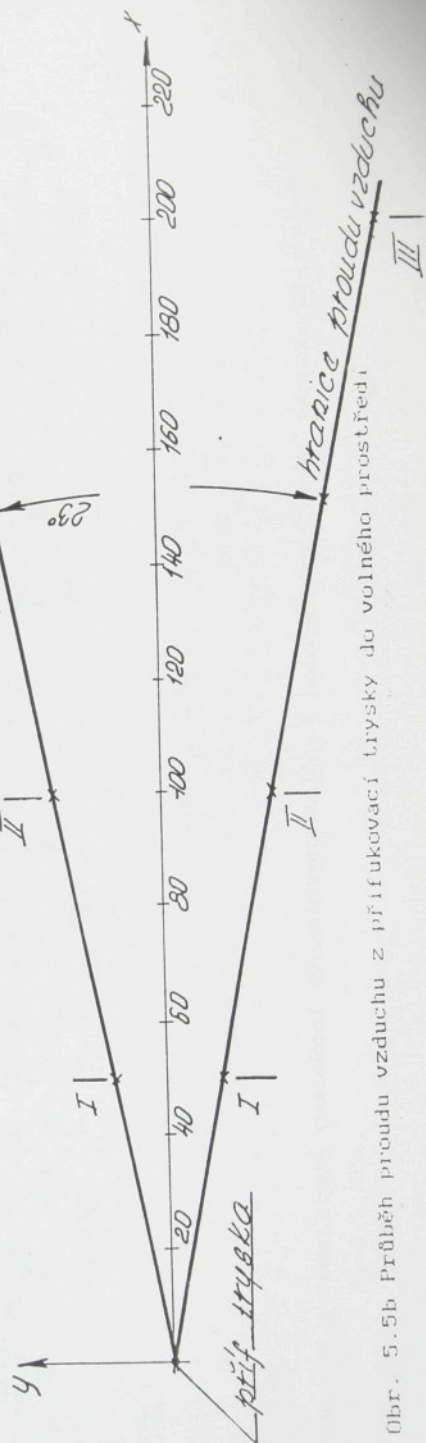
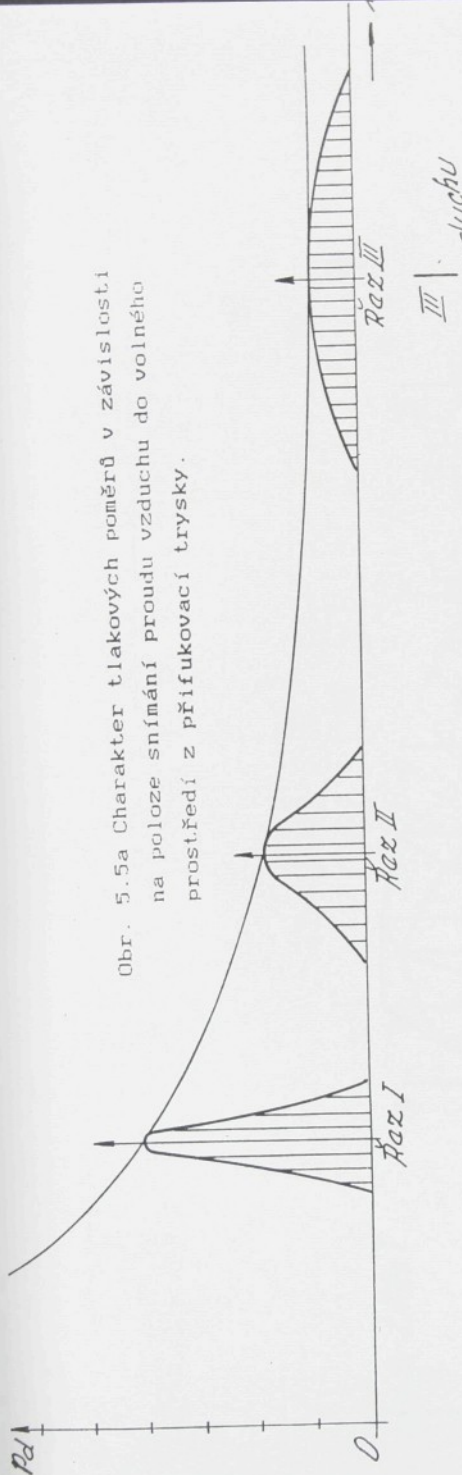
- Soubor měření na obr. 5.10 byl realizován za těchto podmínek : $\gamma = 5,5^\circ$, $P_p = 0,3 \text{ MPa}$,

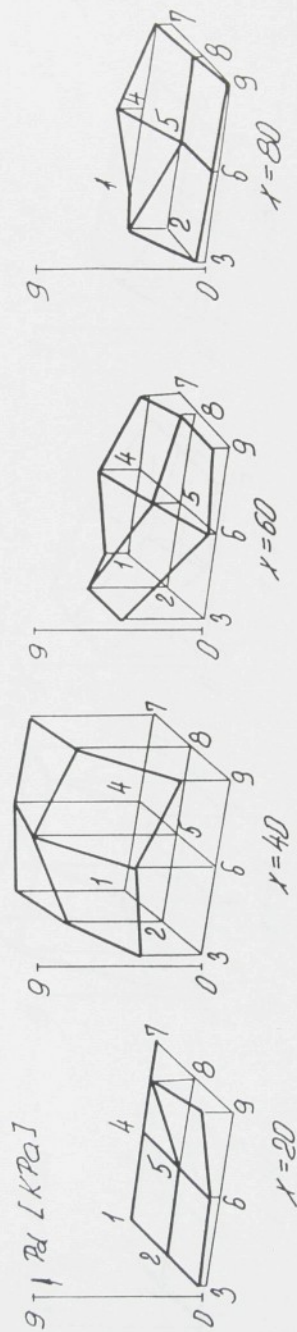
- Soubor měření na obr. 5.11 byl realizován za těchto podmínek : $\gamma = 5,5^\circ$, $P_p = 0,35 \text{ MPa}$,

kde x v grafech na obr. 5.6 až obr. 5.11 představuje vzdálenost mezi ústím přifukovací trysky a měřenou rovinou v kanálu profilového paprsku.

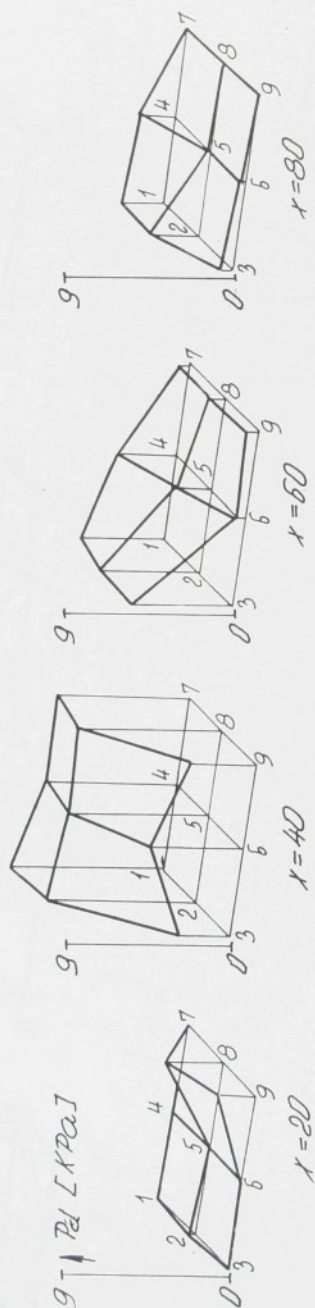
K jednotlivým skupinám grafu obr. 5.6, obr. 5.7 atd. lze vyslovit následující dílčí závěry:

K obr. 5.6: Z celkové úrovně dynamických tlaků v grafech lze zaznamenat největší hodnoty v rovině měření $40 \pm 60 \text{ mm}$. V rovině měření 20 mm je patrné výrazné zvyšování hodnot pouze v některých bodech měřeného kanálu (tj. v bodech 7,8, 9), a naopak v poloze 100 až 120 mm je dynamický tlak minimální, proto nebyl znázorněn v prostorových grafech.

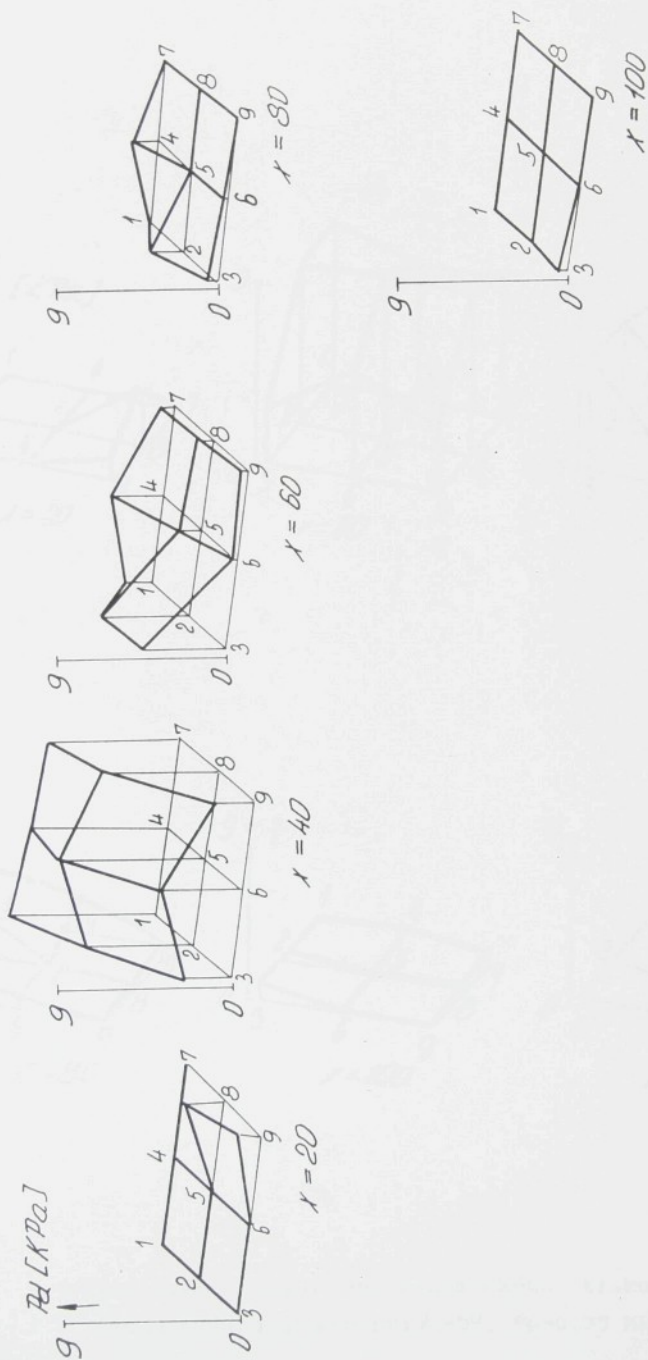




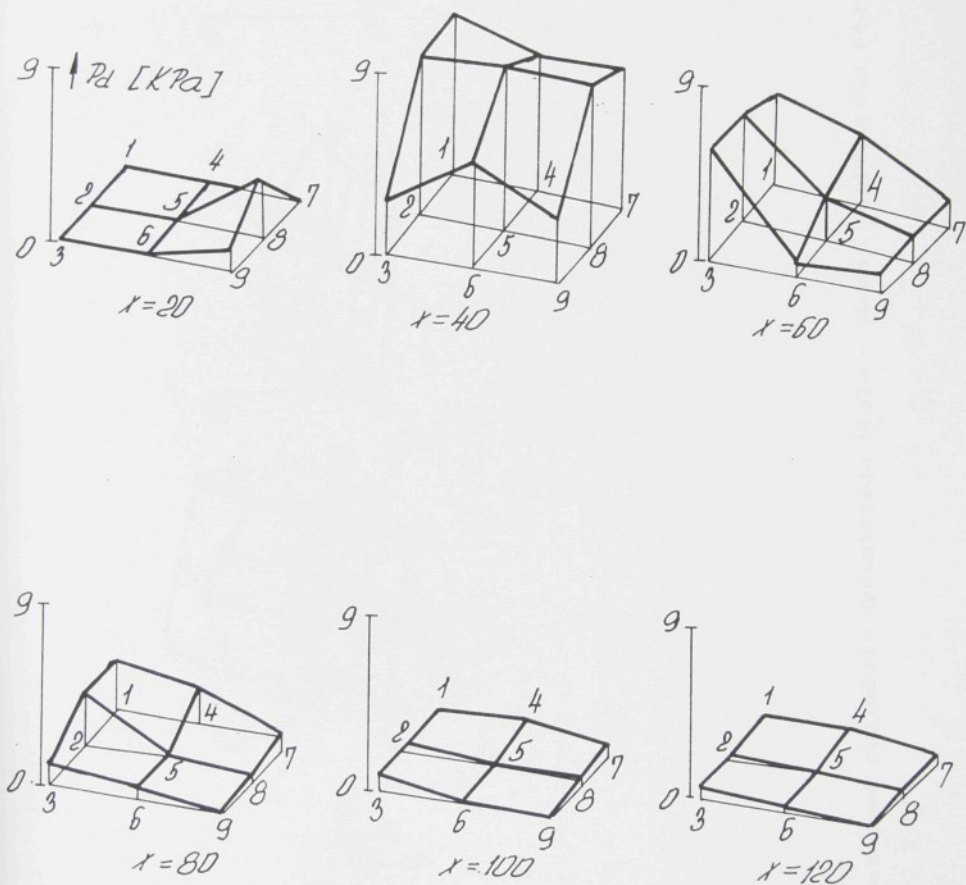
Obr. 5.6 Prostorové rozložení dynamického tlaku v kanálu profilového paprsku při $\gamma = 4,5^\circ$,
 $p_p = 0,3$ MPa



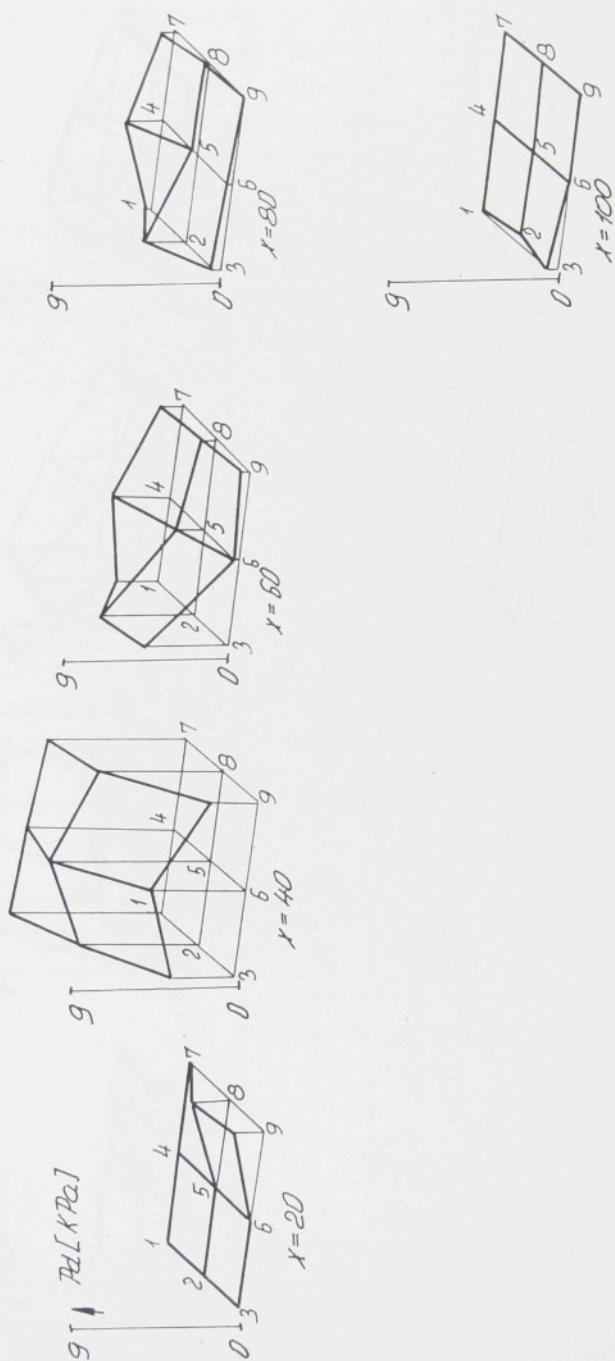
Obr. 5.7 Prostorové rozložení dynamického tlaku v kanálu profilového paprsku při $V=4,50$,
 $p_p=0,35$ MPa



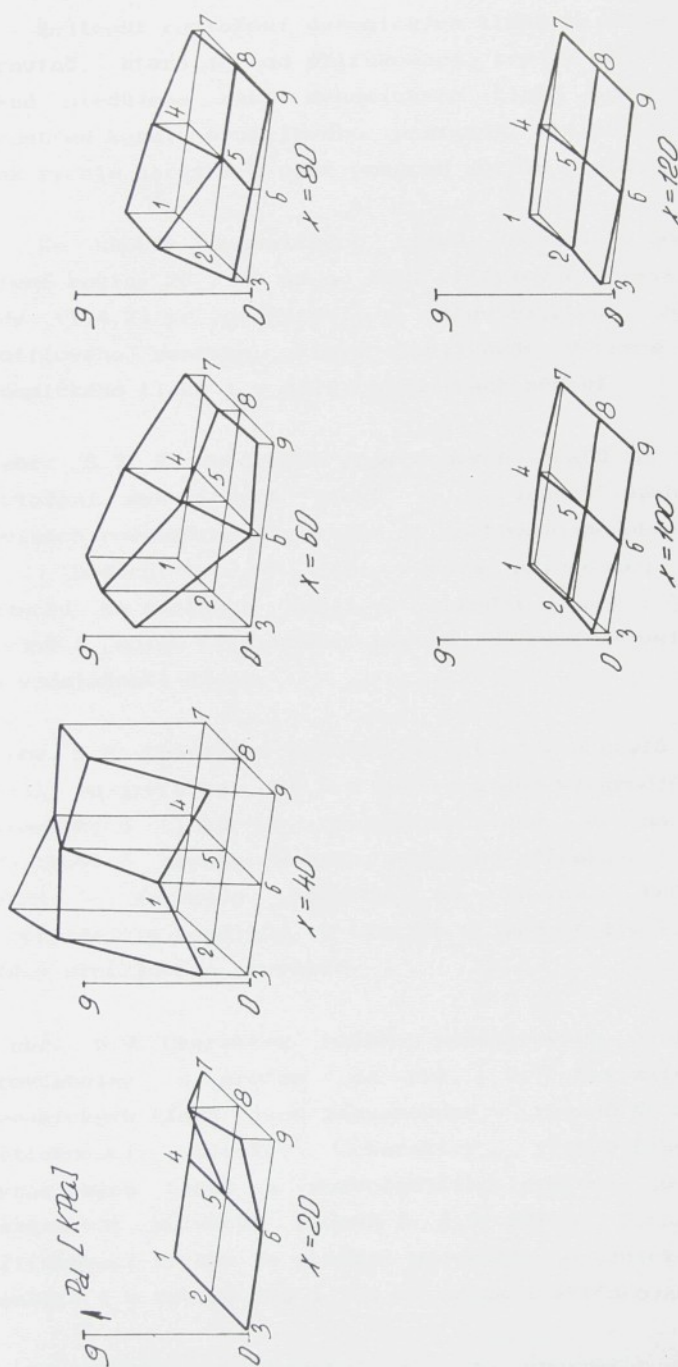
Obr. 5.8 Prostorové rozložení dynamického tlaku v kanálu profilového paprsku při $V = 50^\circ$,
 $p_p = 0.3 \text{ MPa}$



Obr. 5.9 Prostorové rozložení dynamického tlaku v kanálu profilového paprsku při $\angle = 50^\circ$, $P_p = 0,35$ MPa



Obr. 5.10 Prostorové rozložení dynamického tlaku v kanálu profilového paprsku při $V=5,50$, $F_p=0,3$ MPa



Obz. 5.11 Prostorové rozložení dynamického tlaku v kanálu profilového paprsku při $V = 5.50$.

$p_p = 0.35 \text{ MPa}$

Nejlepší rozložení dynamických tlaků ve všech bodech je v rovině, která je od přífukovací trysky vzdálena 40 mm. Pokud sledujeme růst dynamických tlaků bodu 5 (tj. bod uprostřed kanálu profilového paprsku), vidíme, že dynamický tlak rychle narůstá a opět poměrně rychle klesá.

Ke skokům dynamických tlaků dochází v bodech 1,4,7 měřené roviny 20 ÷ 40 mm od ústí přífukovací trysky. Uvedené body (1,4,7) se nacházejí v přímé blízkosti horní stěny profilového paprsku, který ovlivňuje výrazně rozložení dynamického tlaku i v dalších rovinách měření.

K obr. 5.7: Z uvedených prostorových grafů je patrné, že rozložení dynamických tlaků je v jednotlivých měřených rovinách rovnoměrnější a také si zachovává podobný charakter v bodech 1 ÷ 9. Při vyšším přivedeném tlaku (P_p) vzduchu se naplňuje kanál ve střední a horní části téměř stejně a dosah přífukovací trysky je poměrně velký - téměř do vzdálenosti 80 mm.

K obr. 5.8: Charakter průběhu prostorových grafů se natolik neliší od grafu na obr.5.6 Opět nastává výraznější zvětšení dynamických tlaků v rovině vzdálené 40 mm od ústí přífukovací trysky. Rozsah působení přífukovací trysky je větší - dosahuje hodnoty od 90 mm. Opět dochází k výraznějším rozdílům v tlacích v bodech 1,4,7, (u horní stěny profilového paprsku).

K obr. 5.9: Charakter průběhu prostorových grafů je opět srovnatelný s grafem na obr. 5.7 Maximální hodnoty dynamických tlaků jsou zaznamenány v rovině 40 mm od ústí přífukovací trysky, charakter rychlejšího nárůstu dynamických tlaků a pozvolnějšího poklesu je možné také zaznamenat ve všech bodech 1 ÷ 9 měření. Rozsah působení přífukovací trysky je poměrně největší - dynamické tlaky lze naměřit i v rovině 100 ÷ 120 mm od ústí přífukovací trysky.

K obr. 5.10: Lze konstatovat, že charakter prostorových grafů je stejný jako u grafu na obr.5.6 , resp. obr. 5.8

Výrazné rozdíly jsou patrné v bodech 1,4,7 v naměřených rovinách 40 a 60 mm od ústí přifukovací trysky - projevuje se zde vliv pórézní stěny profilového paprsku. Rozsah působení přifukovací trysky je do 80 mm.

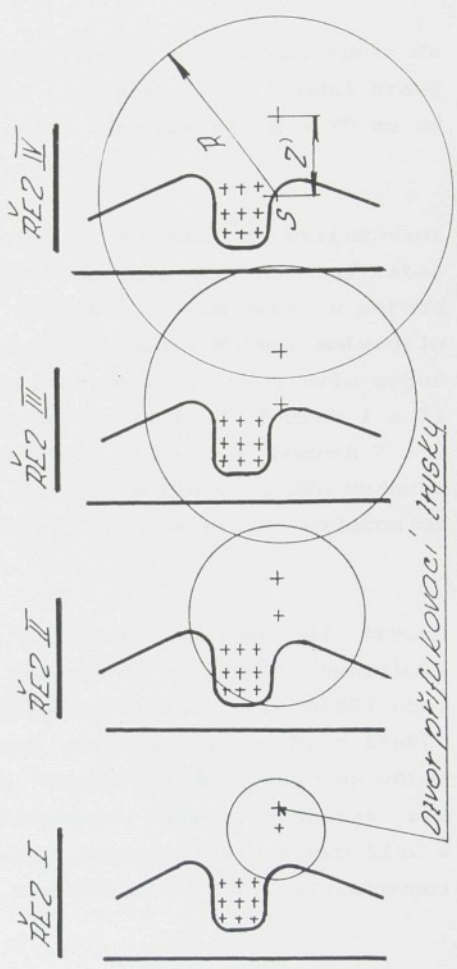
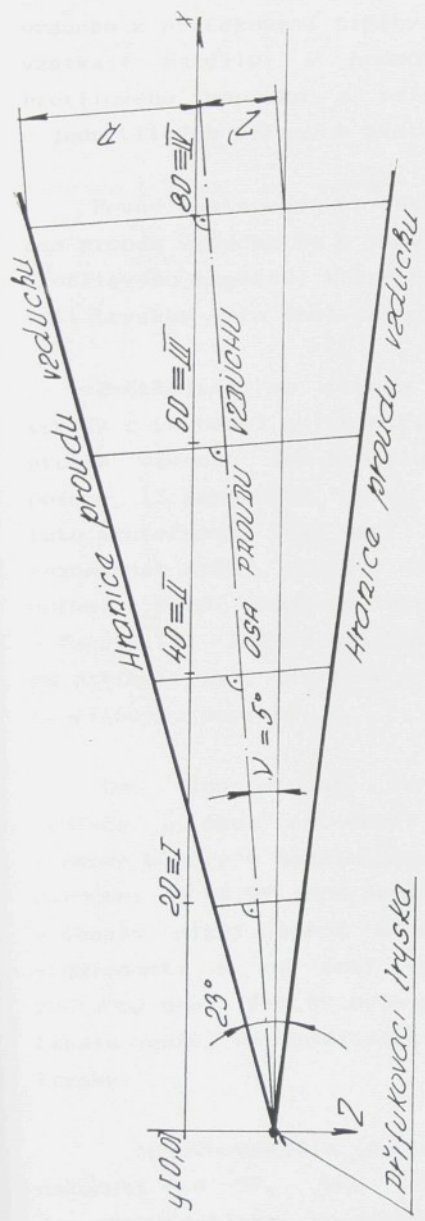
K obr. 5.11: Je možné zaznamenat, že i charakter těchto grafů je podobný s grafem na obr. 5.6., resp. obr. 5.8. Rozsahem působení na trysky se charakter blíží ke grafu na obr. 5.8. s dosahem vzdálenosti $100 \div 120$ mm. V bodech 3,6, 9 jsou hodnoty dynamických tlaků nižší než ve střední a horní části kanálu profilového paprsku.

5.2. Závěry měření:

Z grafických záznamů vyjádřených v grafech na obr. 5.6 až obr. 5.11 lze sestavit dvě skupiny grafů, které představují svým charakterem stejné rozložení dynamických tlaků. Jedná se o skupinu grafů na obr. 5.6, obr. 5.8, obr. 5.10, které jsou napájeny přivedeným tlakem $P_p = 0.3$ MPa. Druhou skupinu představují grafy obr. na 5.7, obr. 5.9, obr. 5.11, u nichž je dodáván přivedeným tlakem $P_p = 0.35$ MPa.

Především se jedná o body 1,4,7, které se nacházejí u horní hrany kanálu profilového paprsku. U vyšších přivedených tlaků není tento rozdíl tak patrný. Na tomto efektu se s největší pravděpodobností podílí větší únik vzduchu podél profilového paprsku - efekt pórézní stěny.

Nejvýhodnější rozložení dynamických tlaků se projevuje především v bodech 2,5,8, měření, tedy uprostřed kanálu profilového paprsku. Naopak nižší dynamické tlaky byly naměřeny v bodech 3,6,9, tj. ve spodní části kanálu profilového paprsku. Na těchto vlivech se podílí proud vzduchu vytékající z přifukovací trysky a směr jejího natočení vůči profilu kanálu (profilového paprsku) apod.



Obr. 5.12 Hypotetická situace proudění vzduchu z přífukovací trysky

Na obr. 5.12. je zobrazena hypotetická situace proudění vzduchu z přífukovací trysky, z níž je možné vyjádřit, proč vznikají rozdíly v hodnotách dynamických tlaků podél profilového paprsku a příslušných řezech I ÷ IV, tj. v jednotlivých měřených místech 1 ÷ 9.

Pevné nastavení přífukovací trysky má za následek, že osa proudu vzduchu se v rovině (xz) přibližuje spodní hraně profilového paprsku, který protíná v poloze cca $x = 70$ mm od ústí trysky (pro úhel nastavení $\varphi = 5^\circ$.)

Zvětšující se plocha proudu vzduchu z přífukovací trysky s rostoucí odlehlostí x způsobuje nerovnoměrný vstup proudu vzduchu do profilu paprsku a tím např. v měřené poloze II nepokrývá celou plochu kanálu. Měření potvrdilo tuto skutečnost. Tak např. na měřeném v místě 1 bylo možné zaznamenat nižší hodnoty dynamického tlaku v řezech I a II měření. Nižší hodnoty dynamických tlaků v bodech 7 - 9 v řezech III ÷ IV souvisejí jednak s poklesem tlaku vzduchu za ústím trysky, ale také s možným odrazem proudu vzduchu od profilového paprsku.

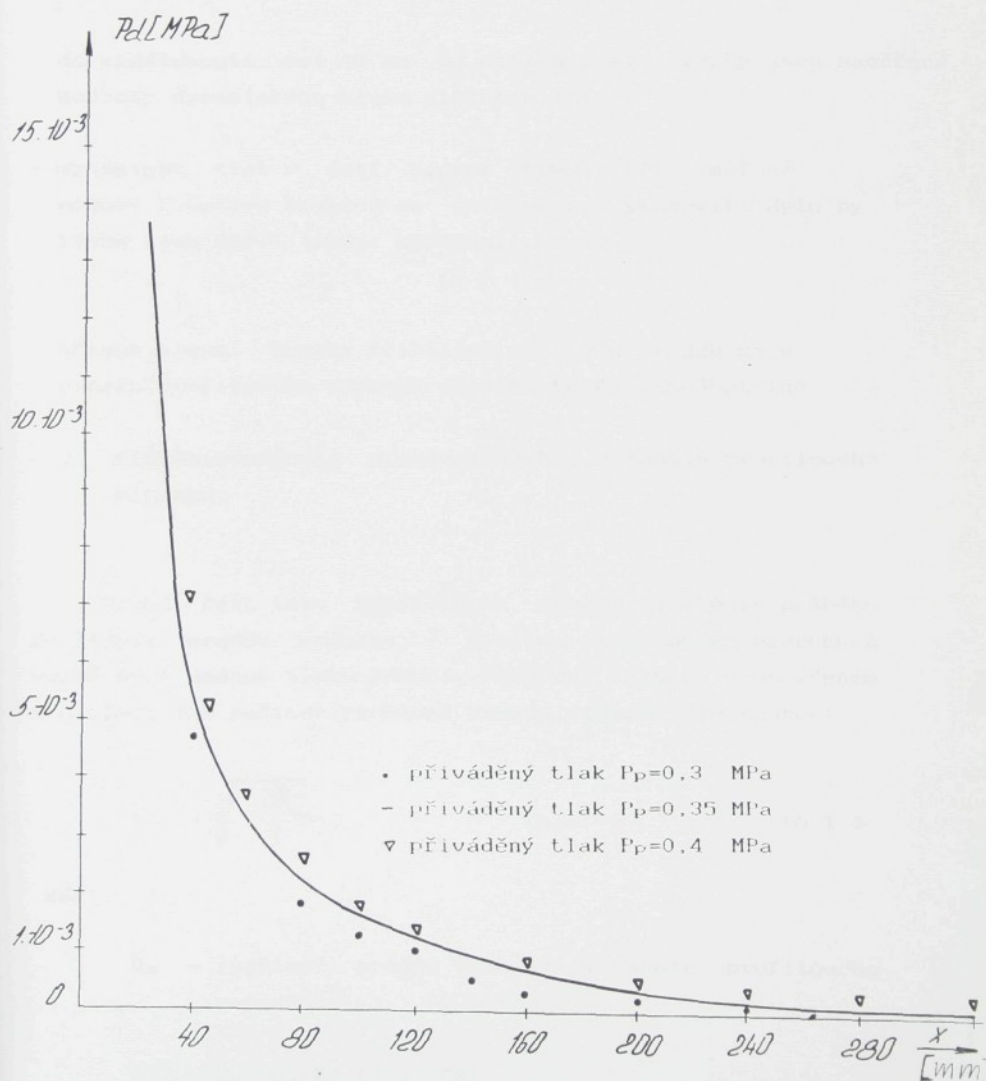
Lze konstatovat, že postavení přífukovací trysky (poloha a úhel natočení) podstatně ovlivňuje dynamické tlakové poměry v kanálu profilového paprsku. Pro nižší úhel natočení $\varphi = 4,5^\circ$ jsou naměřené hodnoty dynamických tlaků v kanálu nižší, neboť se do kanálu dostává proud na větší vzdálenosti x od ústí přífukovací trysky. Naopak pro zvětšený úhel $\varphi = 5,5^\circ$ bylo možné zaznamenat dynamický tlak v kanálu ještě ve vzdálenosti $x = 100$ mm od ústí přífukovací trysky.

Nejvýhodnějším postavením trysky byla poloha úhlu natočení $\varphi = 5^\circ$, kdy lze zaznamenat největší hodnoty dynamického tlaku po délce kanálu, tj. v největším rozsahu hodnot x ($40 < x < 80$ mm).

6. Experimentální měření vybraných veličin proudu vzduchu

6.1. Dosah hlavní trysky v kanálu profilového paprsku.

V první části autor sleduje dosah účinku hlavní trysky v kanálu profilového paprsku měřením dynamického tlaku pomocí Pitotové trubice. Při měření byly do hlavní trysky přiváděny různé tlaky (0,3 Mpa ; 0,35 Mpa ; 0,4 Mpa).



Obr. 6.1 Dosah hlavní trysky v profilovém kanále

Naměřené hodnoty dynamického tlaku jsou uvedeny na obr. 6.1. Lze konstatovat, že :

- dynamický tlak za čelem hlavní trysky do prohozního kanálu rychle klesá.
- při větších vstupních tlacích do hlavní trysky se zvyšuje dosah účinku dynamického tlaku v kanálu.
- do vzdáleností asi 40 mm od ústí hlavní trysky jsou naměřené hodnoty dynamického tlaku diskutabilní.
- dynamický tlak v ústí hlavní trysky při měření pomocí Pitotovy trubice se nedá přesně stanovit. Bylo by třeba tlak měřit jinými metodami.
- účinek hlavní trysky přibližně od 280 ÷ 320 mm v kanálu profilového paprsku je již téměř zanedbatelný.

6.2. Průběh rychlosti proudu vzduchu v kanálu profilového paprsku.

Druhá část této kapitoly se zabývá zjištěním průběhu rychlosti proudu vzduchu v kanálu profilového paprsku. Z naměřených hodnot tlaku pomocí Pitotovy trubice v otevřeném prostředí lze počítat rychlost proudu vzduchu dle vzorce:

$$V_v = \sqrt{\frac{2P_d}{\rho}} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (6.1.)$$

kde:

V_v - rychlost proudu vzduchu v kanálu profilového paprsku $[\text{m.s}^{-1}]$

P_d - dynamický tlak [Pa]

ρ - hustota vzduchu $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$

při teplotě vzduchu 20°C a s normálním barometrickým tlakem prostředí $1,16 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$.

Dynamický tlak se vypočítá podle vzorce:

$$P_d = \Delta h \rho_1 g \quad [\text{Pa}] \quad (6.2.)$$

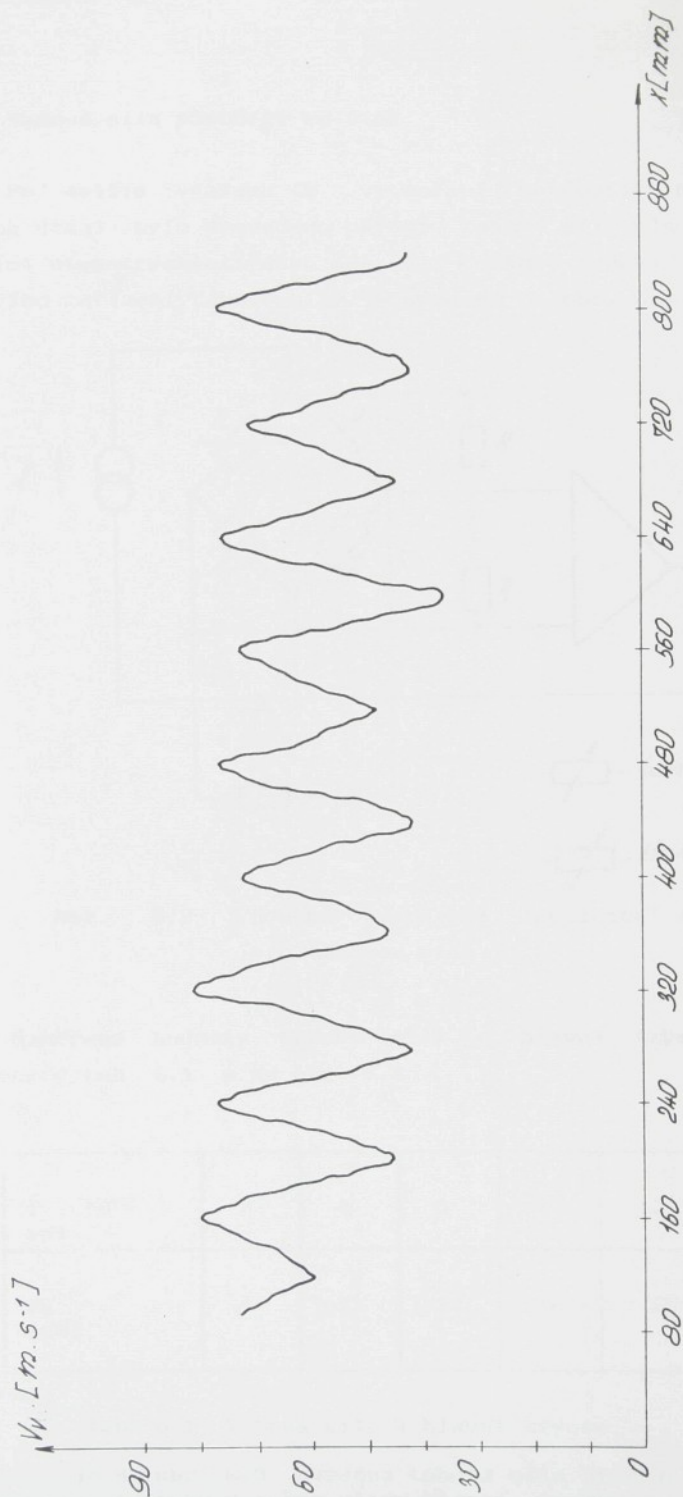
Kde: h - výškový rozdíl v U-manometru $[\text{m}]$
 g - tíhové zrychlení $[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$
 ρ_1 - hustota tekutiny v U-manometru $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$

Při teplotě vzduchu 20°C a tlaku prostředí 1 bar je přibližně $\rho_{\text{voda}} = 1\,000 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$, $\rho_{\text{rtut}} = 13\,600 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$.

Na obr. 6.2 je zakreslen zjištěný průběh rychlosti proudu vzduchu při přiváděném přetlaku do sekcí přifukovacích trysek 0,35 Mpa.

Na základě toho průběhu rychlosti útku proudu vzduchu v kanálu profilového paprsku lze říci, že:

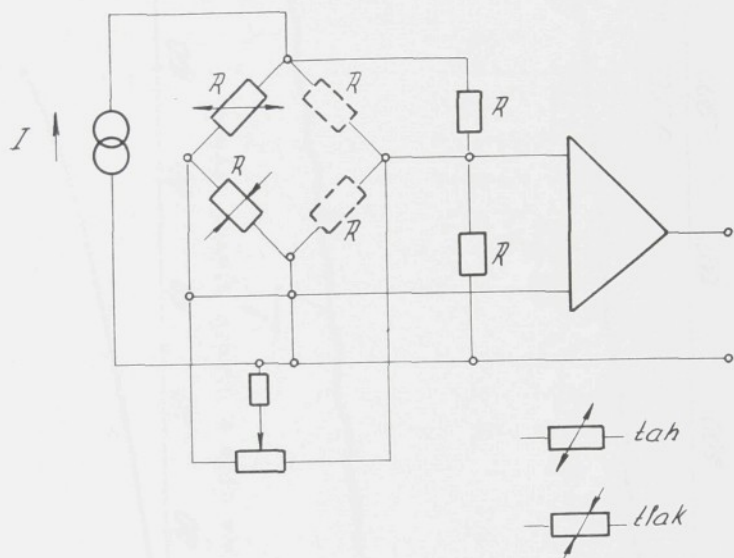
- průběh rychlosti proudu vzduchu je v podstatě ovlivněn působením a rozmístěním přifukovacích trysek,
- přifukovací trysky nejsou stejné kvality (jsou zjištělné rozdílné tlakové hodnoty při měření). Proto je nutné dbát na vysokou kvalitu jejich výroby a kvalitu jejich nastavení.



Obr. 6.2 Průběh rychlosti proudu vzduchu v kanálu profilového paprsku

6.3. Tahová síla působící na útek.

Po delším výzkumu (k vytvoření matematického modelu pohybu útku) bylo provedeno měření tahové síly působící na stojící útek (rychlost útku $V_u = 0$). Celkové schéma zapojení měřícího zařízení tahové síly je uvedeno na obr. 6.3



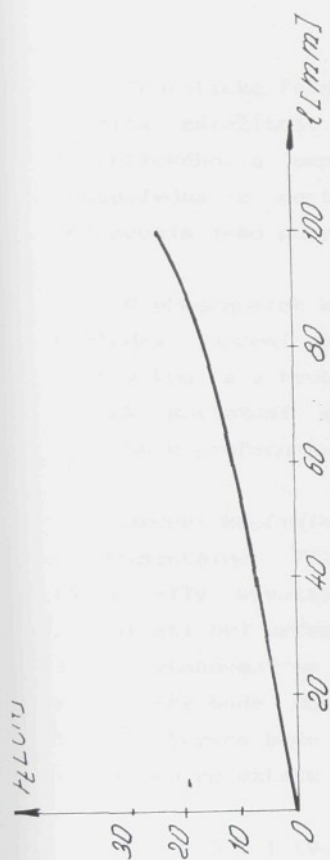
Obr. 6.3 Schema zapojení měřícího zařízení pro tahovou sílu

Naměřené hodnoty tahové síly v hlavní trysce jsou uvedeny v tab. 6.1 a na obr. 6.4

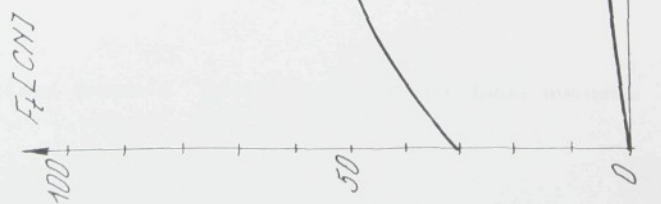
$1 \cdot 10^{-2}$ [m]	2	4	6	8	10
F_t [cN]	4	7	11	16	25

Tab. 6.1 Tahová síla v hlavní trysce.

Dále je na obr. 6.5 uvedena tahová síla útku v kanálu profilového paprsku s a bez vlivu hlavní trysky



Obr. 6.4 Tahová síla v útku v hlavní trysce



Obr. 6.5: 1- Tahová síla v útku s vlivem hlavní trysky



2- Tahová síla v útku bez vlivu hlavní trysky

7. Matematický model pohybu útku v proudu vzduchu pneumatického tkacího stroje.

Teoretické řešení pneumatického prohozu útku je velice složitá záležitost. Je proto výhodné využít kombinovaného teoretického a experimentálního řešení jako schůdnější cestu. Jedna z cest, jak řešit teoreticky pohyb útku se sestavením jeho pohybové rovnice je popsána dále.

V předchozích kapitolách jsou zpracovány experimentální výsledky z měření rychlosti proudu vzduchu v hlavní trysce, za tryskou a v prohozním kanále za působení přífukovacích trysek. Rozložení dynamických tlaků resp. rychlosti proudu vzduchu v průřezu kanálu je zpracováno v kapitole (5. a 6.)

Určení koeficientu odporu vzduchu bylo provedeno rovněž experimentálně. Při stojícím útku byla sledována velikost tahové síly vyvolané proudem vzduchu kolem útku. Z těchto závislostí byl určen koeficient odporu útku pro vzduch. Při jeho stanovení se vycházelo z předpokladu, že koeficient bude konstantní po celé délce kanálu, přičemž v hlavní trysce bude jeho hodnota jiná. Určení koeficientu vycházelo ze vztahu :

$$F = 0,5 C l (V_v - V_u)^2 \quad (7.1)$$

kde: F - tahová síla [N]

C - koeficient odporu vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]

l - délka útku obtékaného vzduchovým proudem [m]

V_v - rychlost vzduchu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

V_u - rychlost útku [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Řešení bylo provedeno pro různé materiály a různé délkové hmotnosti.

Vypočítaná hodnota koeficientu odporu bude uvedena

viz. tab.7.1

7.1. Pohybová rovnice útku v proudu vzduchu:

Vlastní pohyb útku v proudu vzduchu byl sledován pomocí přibližného dynamického modelu prohozu, a byla pro něj sestavena pohybová rovnice ve tvaru:

$$m a = \frac{1}{2} [C_{t1} l_1 (V_{t1} - V_u)^2 + C_{t2} l_2 (V_{t2} - V_u)^2 + \frac{V_v(x) - V_u}{|V_v(x) - V_u|} C_k x (V_v(x) - V_u)^2 - C_{t0} l_0 V_u^2] - F_1 \quad (7.2)$$

kde: m - celková hmotnost pohybujícího útku od místa strhu útku z bubínku odměřovače až po čelo útku

$$m = \rho (l_b + l_0 + l_1 + l_2 + x) \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (7.3)$$

$$\begin{aligned} \rho & - \text{hmotnost délky 1 m materiálu } [\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}] \\ \rho & = 10^{+6} \text{ Tex} \end{aligned} \quad (7.4)$$

a - zrychlení útku $[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$

C_{t0} - koeficient odporu před hlavní tryskou $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}]$

C_{t1} - koeficient odporu v útkové trubici hlavní trysky $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}]$

C_{t2} - koeficient odporu v výstupní trubici hlavní trysky $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}]$

C_k - koeficient odporu v kanálu profilového paprsku $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}]$

l_b - délka útku od bubínku odměřovače k očku před hlavní tryskou $[\text{m}]$

l_0 - délka od očka k vstupu do hlavní trysky $[\text{m}]$

l_1 - délka útkové trubice hlavní trysky $[\text{m}]$

l_2 - délka výstupní trubice hlavní trysky $[\text{m}]$

x - délka útku v prohozním kanálu $[\text{m}]$

V_{t1} - rychlost vzduchu v útkové trubici hlavní trysky
[m.s⁻¹]

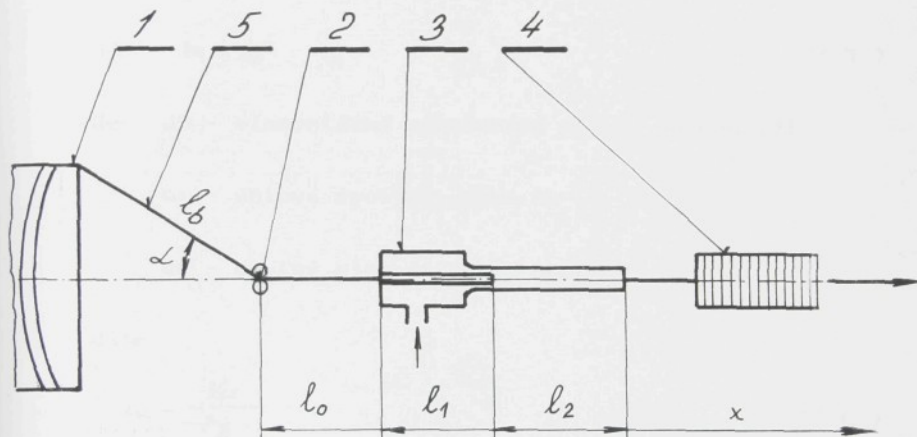
V_{t2} - rychlost vzduchu v ústí hlavní trysky [m.s⁻¹]

$V_v(x)$ - rychlost vzduchu v kanálu profilového paprsku
[m.s⁻¹]. Určení této rychlosti je uvedeno v
příloze 54

V_u - rychlost útku [m.s⁻¹]

F_1 - síla v útku před hlavní tryskou [N]

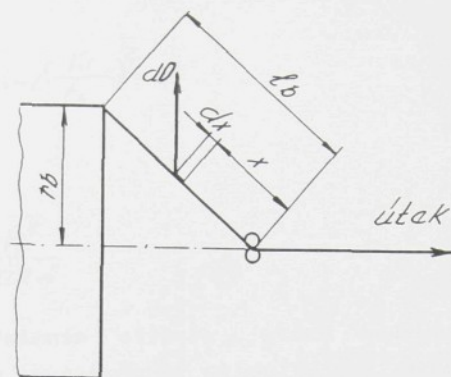
Schéma pohybu útku je uvedena na obr.7.1



Obr. 7.1 Schéma pohybu útku.

(1 - bubínek odměřovače, 2 - očko před hlavní tryskou,
3 - hlavní tryska, 4 - profilový paprsek, 5 - útek)

Síla F_2 (viz. obr. 7.3a) v balonu byla určena pomocí zjednodušeného modelu přibližujícímu se skutečnému tvaru balonu. Vzhledem k tomu, že vzdálenost očka od bubínku je v porovnání s průměrem bubínku odměřovače malá (útek v klidu svírá s osou prohozu úhel větší než 60°), balon je značně plochý a lze ho s poměrně malou chybou nahradit přímkou, což je pro naše účely postačující. S ohledem k těmto předpokladům můžeme podle obr. 7.2 napsat :



Obr. 7.2. elementární odstředivá síla v balonu
(r_b - průměr bubínku)

$$dD = dm r \omega^2 \quad (7.5.)$$

kde: dD - elementární odstředivá síla v balonu [N]

ω - úhlová rychlost útku [s^{-2}]

dm - hmotný element útku [kg]

dále:

$$\omega = \frac{V_u}{r_b} \quad (7.6.)$$

$$dm = \rho dx \quad (7.7)$$

$$r = x \sin \alpha \quad (7.8.)$$

Po dosazení rovnic (7.6.), (7.7.), (7.8.) do rovnice (7.5.) dostaneme:

$$D = \int_0^{l_b} \rho \sin \alpha \left(\frac{V_u}{r_b} \right)^2 x dx \quad (7.9.)$$

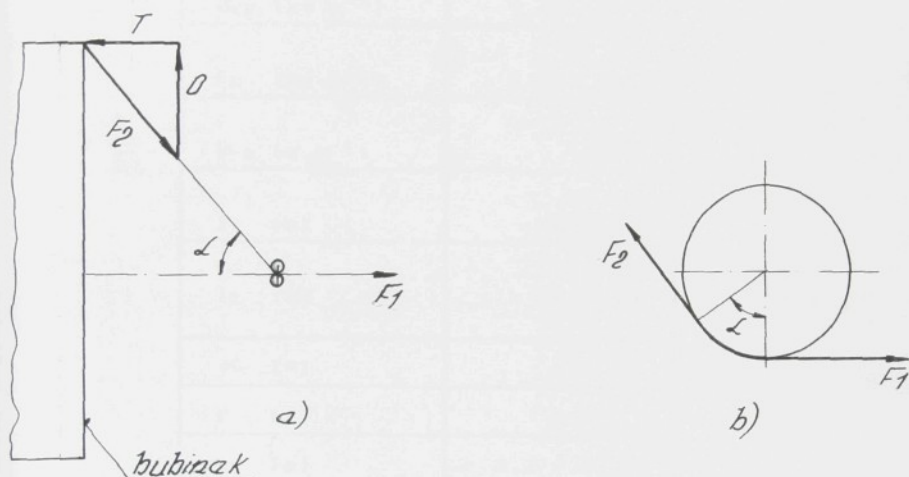
Po integraci:

$$0 = 0,5 g \sin \alpha \left(\frac{V_u}{t_b} \right)^2 l_b^2 \quad (7.10.)$$

Po úpravě :

$$0 = 0,5 g \frac{V_u^2}{\sin^2 \alpha} \quad (7.11)$$

Přibližným řešením síly F_2 , která bude v rovnováze s odstředivou silou 0 a tečnou silou T , jak ukazuje na obr. 7.3.a.b



Obr. 7.3.a.b Složkové síly v balonu útku.

Na základě rovnováhy, pak bude síla F_2 v balonu:

$$F_2 = \frac{0}{\sin^2 \alpha} \quad (7.12)$$

po dosazení:

$$F_2 = 0,5 g \frac{V_u^2}{\sin^2 \alpha} \quad (7.13)$$

Síla v útku F_1 před hlavní tryskou bude vypočítána dle Eulerova vztahu podle obr. 7.3b:

$$F_1 = F_2 \cot \alpha \quad (7.14)$$

Pohybová rovnice 7.2 je řešena numericky na personálním počítači na katedře KTS - VŠST Liberec. Byl sestaven program s numerickou integrací diferenciální rovnice metodou Runge - Kutta.

q [kg.m ⁻¹]	$9,2 \cdot 10^{-5}$
C_{t0} [kg.m ⁻²]	$6,4 \cdot 10^{-3}$
C_{t1} [kg.m ⁻²]	$3,9 \cdot 10^{-4}$
C_{t2} [kg.m ⁻²]	$1,06 \cdot 10^{-4}$
C_k [kg.m ⁻²]	$1,06 \cdot 10^{-4}$
V_{vs} [m.s ⁻¹]	60
l_1 [m]	$44 \cdot 10^{-3}$
l_2 [m]	$56 \cdot 10^{-3}$
α [°]	61
f [1]	0,3
x_1 [m]	0,2 - 0,32
V_{t1} [m.s ⁻¹]	25
V_{t2} [m.s ⁻¹]	90 - 120
x [m]	1,6
A_k [m.s ⁻¹]	20

Tab. 7.1. Základní vstupní parametry pro výpočet (x_1 - vzdálenost, na které se projevuje účinek hlavní trysky v kanálu profilového paprsku,

V_{vs} - střední rychlost vzduchu v prohozním kanálu)

Řešení bylo provedeno pro různé varianty vstupních parametrů , čili pro různé výstupní rychlosti vzduchu od

hlavní trysky, různé materiály útku různé délkové hmotnosti, různé koeficienty odporů a různé odporové síly. Základní vstupní parametry pro výpočty jsou uvedeny v tab. 7.1. Výsledkem řešení na počítači jsou vypočtené průběhy rychlostí útku při pohybu v proudu vzduchu.

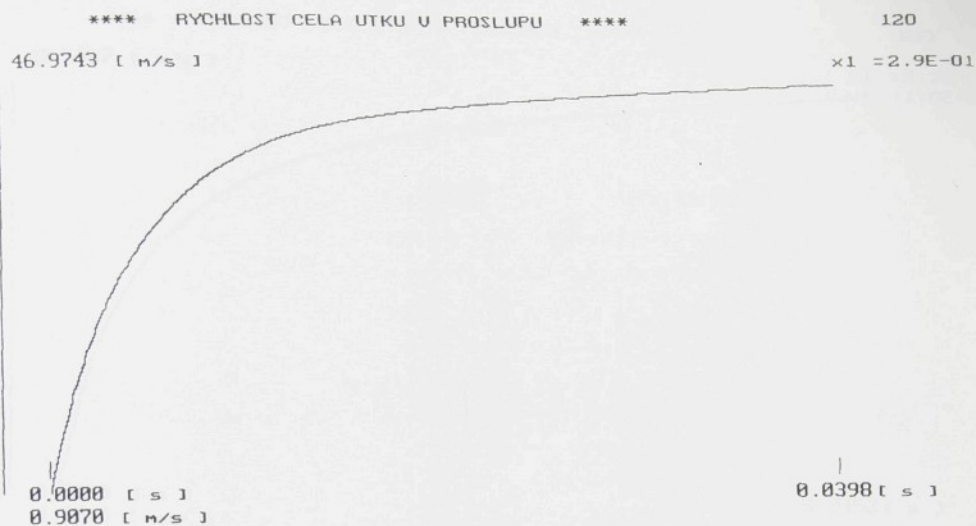
7.2. Zhodnocení řešení

7.2.1. Průběh rychlosti útku pro různé výtokové rychlosti z hlavní trysky

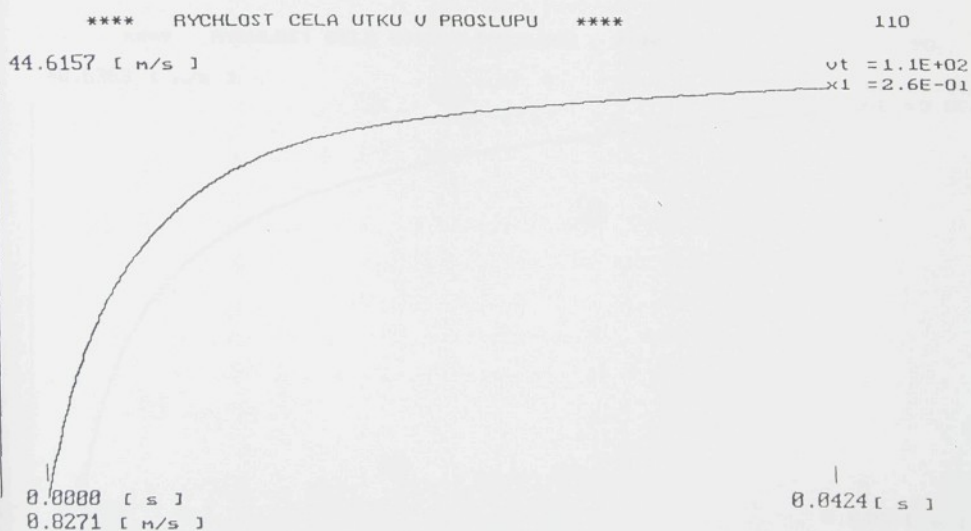
Při řešení pohybové rovnice byl sledován vliv výstupní rychlosti vzduchu v ústí hlavní trysky na průběh rychlosti útku. Tyto závislosti jsou uvedeny na obr. 7.4 až obr. 7.7, při zachování základních hodnot ostatních parametrů. Z těchto průběhů je patrné, že rychlost útku roste se zvyšující se rychlostí vzduchu V_{t2} v ústí hlavní trysky. Při rychlosti vzduchu 120 m dosáhneme max. rychlosti útku $V_{umax} = 46,97 \text{ m.s}^{-1}$. Při rychlosti vzduchu $V_{t2} = 90 \text{ m.s}^{-1}$ se rychlost útku sníží až na $40,63 \text{ m.s}^{-1}$. Náběhy rychlosti útku se příliš nemění. Relace jsou patrné z tab. 7.2

$V_{t2} [\text{m.s}^{-1}]$	120	110	100	90
$V_{umax} [\text{m.s}^{-1}]$	46,97	44,61	42,59	40,63

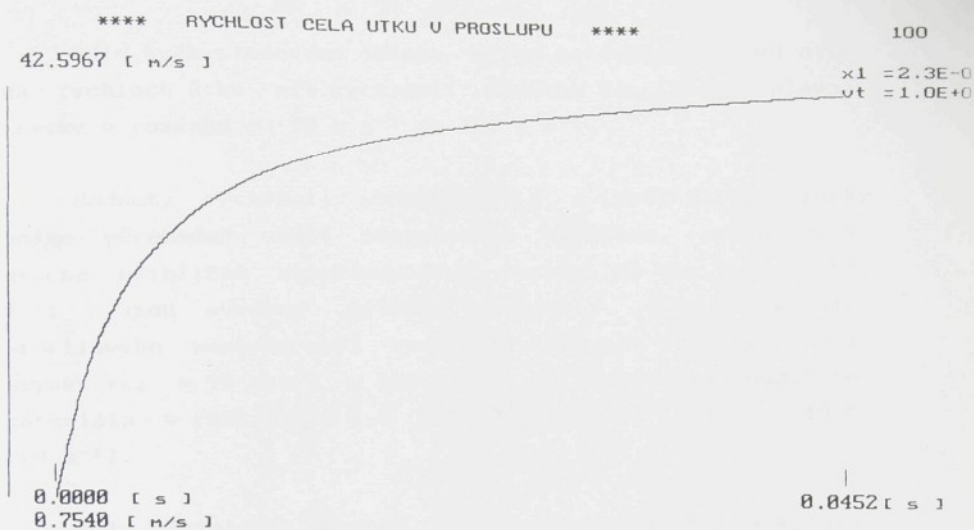
Tab. 7.2 Závislost V_{umax} na V_{t2} .



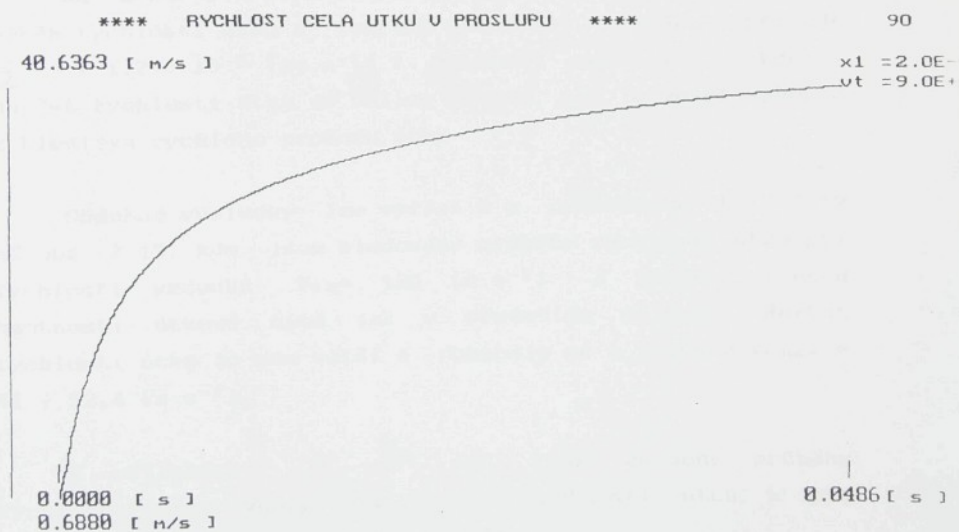
Obr. 7.4 Průběh rychlosti útku při $V_{t2}=120 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



Obr. 7.5 Průběh rychlosti útku při $V_{t2}=110 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



Obr. 7.6 Průběh rychlosti útku při $v_{t2} = 100 \text{ m.s}^{-1}$



Obr. 7.7 Průběh rychlosti útku při $v_{t2} = 90 \text{ m.s}^{-1}$

7.2.2. Vliv délkové hmotnosti útku na jeho rychlost

Dále byla sledována otázka vlivu materiálu útkové nitě na rychlost útku při rychlosti vzduchu V_{t2} v ústí hlavní trysky v rozsahu od 90 m.s^{-1} do 120 m.s^{-1} .

Hodnoty rychlosti vzduchu, V_{t2} v ústí hlavní trysky nelze věrohodně určit teoretickým výpočtem, proto byly určeny přibližně experimentální cestou. Na obr. 7.8 až obr. 7.11 jsou uvedeny průběhy rychlostí útku v kanále profilového paprsku při rychlosti vzduchu v ústí hlavní trysky $V_{t2} = 90 \text{ m.s}^{-1}$ v závislosti na hmotnosti použitého materiálu v rozsahu $q = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ [kg.m}^{-1}] \div 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ [kg.m}^{-1}]$.

Tyto závislosti ukazují, že max. rychlost útku v kanále profilového paprsku roste se snižující se hmotností útkové nitě (nižší hodnota T_{ex}) a to tak, že při $q = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ [kg.m}^{-1}]$ dosahuje útek rychlosti $V_{umax} = 34,54 \text{ [m.s}^{-1}]$ a při $q = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ [kg.m}^{-1}]$, $V_{umax} = 47,03 \text{ [m.s}^{-1}]$.

Na uvedených průbězích je patrný podstatně rychlejší náběh rychlosti útku u lehčích materiálů, zejména v případě $q = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ [kg.m}^{-1}]$ (materiál monofil), kde nárůst rychlosti útku je velice strmý, což je velmi výhodné z hlediska rychlého prohozu útku.

Obdobné výsledky lze vyčíst i z průběhů na obr. 7.12 až obr. 7.15, kde jsou sledovány průběhy rychlosti útku při rychlosti vzduchu $V_{t2} = 120 \text{ [m.s}^{-1}]$ a stejnou zněnou hmotnosti útkové nitě jak v předešlém případě. Nárůst rychlosti útku je zde větší a pohybuje se v rozsahu $V_{umax} = 41 \div 52,4 \text{ [m.s}^{-1}]$.

V přílohách 3 až 10 jsou uvedeny průběhy rychlosti útku V_{umax} při různé hmotnosti útku a při rychlosti vzduchu $V_{t2} = 100$ a $110 \text{ [m.s}^{-1}]$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

34.5423 [m/s]

q = 1.8E-04
vt = 9.0E+01
x1 = 2.0E-01

0.0000 [s]
0.3545 [m/s]

0.0595 [s]

Obr. 7.8 Vliv délkové hmotnosti útku na jeho rychlost
při $q = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$ a $v_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

36.3549 [m/s]

q = 1.5E-04
vt = 9.0E+01
x1 = 2.0E-01

0.0000 [s]
0.4247 [m/s]

0.0561 [s]

Obr. 7.9 Vliv délkové hmotnosti útku na jeho rychlost
při $q = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$ a $v_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

42.3091 [m/s]

$q = 7.2E-05$
 $v_t = 9.0E+01$
 $x_1 = 2.0E-01$

0.0000 [s]
 0.8750 [m/s]

0.0456 [s]

Obr 7.10 Vliv délkové hmotnosti útku na jeho rychlost
 při $q = 7.2 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$ a $v_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

47.0313 [m/s]

$q = 1.7E-05$
 $v_t = 9.0E+01$
 $x_1 = 2.0E-01$

0.0000 [s]
 3.4690 [m/s]

0.0372 [s]

Obr. 7.11 Vliv délkové hmotnosti útku na jeho rychlost
 při $q = 1.7 \cdot 10^{-5}$ a $v_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

41.0868 [m/s]

$\times 1 = 2.9E-01$
 $\alpha = 1.8E-04$

0.0000 [s]
0.4676 [m/s]

0.0482 [s]

Obr. 7.12 Vliv délkové hmotnosti útku na jeho rychlost
při $q = 1.8 \cdot 10^{-4}$ a $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

42.9353 [m/s]

$\times 1 = 2.9E-01$
 $\alpha = 1.5E-04$

0.0000 [s]
0.5681 [m/s]

0.0454 [s]

Obr. 7.13 Vliv délkové hmotnosti útku na jeho rychlost
při $q = 1.5 \cdot 10^{-4}$ a $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

48.4434 [m/s]

$x1 = 2.9E-01$
 $q = 7.2E-05$

0.0000 [s]
1.1533 [m/s]

0.0377 [s]

Obr. 7.14 Vliv délkové hmotnosti útku na jeho rychlost
při $q = 7.2 \cdot 10^{-5}$ a $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

52.4022 [m/s]

$x1 = 2.9E-01$
 $q = 1.7E-05$

0.0000 [s]
4.5566 [m/s]

0.0321 [s]

Obr. 7.15 Vliv délkové hmotnosti útku na jeho rychlost
při $q = 1.7 \cdot 10^{-5}$ a $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Hodnoty $V_{\max}$ pro různé hodnoty $\mathcal{L}$ jsou uvedeny v tab.7.3. až tab. 7.7.

$V_{t2} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	120	110	100	90
$V_{\max} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	41,08	38,68	36,59	34,54

Tab. 7.3. $V_{\max}$ při $\mathcal{L} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ [kg.m}^{-1}\text{]}$

$V_{t2} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	120	110	100	90
$V_{\max} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	42,93	40,52	38,42	36,35

Tab. 7.4. $V_{\max}$ při $\mathcal{L} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ [kg.m}^{-1}\text{]}$

$V_{t2} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	120	110	100	90
$V_{\max} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	46,97	44,61	42,59	40,63

Tab. 7.5. $V_{\max}$ při $\mathcal{L} = 9,2 \cdot 10^{-5} \text{ [kg.m}^{-1}\text{]}$

$V_{t2} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	120	110	100	90
$V_{\max} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	48,44	46,13	44,19	42,3

Tab. 7.6. $V_{\max}$ při $\mathcal{L} = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ [kg.m}^{-1}\text{]}$

$V_{t2} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	120	110	100	90
$V_{umax} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	52,40	50,63	48,61	47,03

Tab. 7.7. V_{umax} při $\varrho = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ [kg.m}^{-1}\text{]}$

7.2.3. Průběh rychlosti útku bez vlivu přífukovacích trysek

Při sledování průběhu rychlosti útku s přífukovacími tryskami (obr. 7.4 až obr. 7.7) a průběhu rychlosti útku bez vlivu přífukovacích trysek (přílohy 11 ÷ 14), (uvedené hodnoty jsou v tab. 7.8.), vidíme, že rychlost útku v kanálu bez přífukovacích trysek je nižší asi o hodnotu 8,79 ÷ 10,8 m.s^{-1} . Vzhledem k tomu, že v obou případech byl průběh sledován za stejných ostatních podmínek, lze říci, že vliv přífukovacích trysek na max. rychlost útku není velký.

$V_{t2} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	120	110	100	90
$V_{umax} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	46,97	44,61	42,59	40,63
$V_{ubmax} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	38,18	35,63	32,86	29,83
$\Delta V_u \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	8,79	8,98	9,73	10,8

Tab. 7.8. Rozdíl rychlosti útku s a bez přífukovacích trysek
 $(V_{ubmax} - \text{rychlost útku bez přífukovacích trysek})$
 $\Delta V_u = V_{umax} - V_{ubmax}$

7.2.4. Vliv délky výstupní trubice hlavní trysky na rychlost útku

V přílohách 15 až 26 jsou uvedeny rychlosti útku v závislosti na délce výstupní trubice hlavní trysky (základní varianta $l_2 = 56 \cdot 10^{-3}$ [m]). V tab. 7.9. až tab. 7.12 je uveden nárůst rychlostí V_{umax} v závislosti na výstupní délce l_2 hlavní trysky při různých rychlostech v ústí hlavní trysky V_{t2} .

$l_2 \cdot 10^{-3}$ [m]	56	100	150	200
V_{umax} [m.s ⁻¹]	46,97	49,92	52,7	55,02
ΔV_u [m.s ⁻¹]		2,95	2,78	2,32

Tab. 7.9. Nárůst rychlosti útku V_{umax} v závislosti l_2 při $V_{t2} = 120$ [m.s⁻¹].

l_2 [m]	56	100	150	200
V_{umax} [m.s ⁻¹]	44,61	47,2	49,66	51,72
ΔV_u [m.s ⁻¹]		2,59	2,46	2,06

Tab. 7.10. Nárůst rychlosti útku V_{umax} v závislosti l_2 při $V_{t2} = 110$ [m.s⁻¹].

l_2 [m]	56	100	150	200
V_{umax} [m.s ⁻¹]	42,59	44,76	46,84	48,61
ΔV_u [m.s ⁻¹]		2,17	2,08	1,77

Tab. 7.11. Nárůst rychlosti útku V_{umax} v závislosti l_2
při $V_{t2} = 100$ [m.s⁻¹]

l_2 [m]	56	100	150	200
V_{umax} [m.s ⁻¹]	40,63	42,36	44,07	45,53
ΔV_u [m.s ⁻¹]		1,73	1,71	0,96

Tab. 7.12. Nárůst rychlosti útku V_{umax} v závislosti l_2
při $V_{t2} = 90$ [m.s⁻¹].

Řešení bylo provedeno až do délky $l_2 = 2 \cdot 10^{-1}$ [m]. Je též patrné, že přírůstek rychlosti se zmenšuje u větších délek výstupní trubice hlavní trysky. Při prodloužení výstupní trubice hlavní trysky l_2 na $2 \cdot 10^{-1}$ m dochází k nárůstu rychlosti útku V_{umax} jen o 2,32 [m.s⁻¹]. Obdobně se chová rychlost útku při prodloužení výstupní trubice hlavní trysky při nižších výstupních rychlostech vzduchu

z hlavní trysky $V_{t2} = 90 \div 110 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$. Obecně můžeme říci, že rychlost útku klesá se snižující se rychlostí vzduchu v ústí hlavní trysky. Při nejdelší uvažované délce hlavní trysky klesá V_{umax} o $3 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$ při poklesu výstupní rychlosti V_{t2} o $10 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$. Vliv délky hlavní trysky se snižuje s klesající rychlostí v ústí hlavní trysky. Při $V_{t2} = 90 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$ dochází k polovičnímu nárůstu rychlosti útku.

7.2.5. Vliv koeficientů odporu vzduchu na rychlost útku.

V přílohách 27 až 52 jsou uvedeny průběhy rychlosti útku v kanálu profilového paprsku s ohledem na vliv koeficientů C_{t0} , C_{t1} , C_{t2} , C_k .

V přílohách 27 až 34 je sledován vliv koeficientu C_{t0} při dvou výstupních rychlostech vzduchu v ústí hlavní trysky $V_{t2} = 90 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$ a $V_{t2} = 120 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$.

V tab. 7.13. až tab. 7.14 jsou uvedeny maximální rychlosti útku v kanálu profilového paprsku při změně koeficientu C_{t0} .

$C_{t0} \text{ [kg.m}^{-2}\text{]}$	$V_{\text{umax}} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$
$7,4 \cdot 10^{-4}$	44,06
$5,3 \cdot 10^{-4}$	44,96
$3,18 \cdot 10^{-4}$	45,93
$1,06 \cdot 10^{-4}$	46,97
$8,3 \cdot 10^{-5}$	47,24

Tab. 7.13. Závislost V_{umax} na C_{t0} při $V_{t2} = 120 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$

C_{t0} [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]	V_{max} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
$7,4 \cdot 10^{-4}$	38,08
$5,3 \cdot 10^{-4}$	38,86
$3,2 \cdot 10^{-4}$	39,71
$1,06 \cdot 10^{-4}$	40,63
$8,3 \cdot 10^{-5}$	40,73

Tab. 7.13. Závislost V_{max} na C_{t0} při $V_{t2} = 90$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Dá se říci, že koeficient C_{t0} nemá velký vliv na růst rychlosti útku, i když při zmenšení tohoto koeficientu se rychlost útku zvyšuje, ale poměrně pomalu.

V tab. 7.15. až tab. 7.16. jsou uvedeny max. rychlosti útku při změně koeficientu C_{t1} .

C_{t1} [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]	V_{max} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
$1,24 \cdot 10^{-2}$	44,68
$1,04 \cdot 10^{-2}$	45,33
$8,4 \cdot 10^{-3}$	46,08
$6,4 \cdot 10^{-3}$	46,97
$4,4 \cdot 10^{-4}$	50,97

Tab. 7.15. Závislost V_{max} na C_{t1} při $V_{t2} = 120$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

$C_{t1} \text{ [kg.m}^{-2}\text{]}$	$V_{\text{max}} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$
$1,24 \cdot 10^{-2}$	39,59
$1,04 \cdot 10^{-2}$	39,91
$8,4 \cdot 10^{-3}$	40,23
$6,4 \cdot 10^{-3}$	40,63
$4,4 \cdot 10^{-4}$	42,19

Tab. 7.16. Závislost V_{max} na C_{t1} při $V_{t2} = 90 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$

Koeficient C_{t1} a zejména koeficient C_{t0} způsobují především brzdění rychlosti útku. V úseku útkové trubice hlavní trysky byla uvažována nízká rychlost proudu vzduchu V_{t1} . Rychlost vzduchu v útkové trubici hlavní trysky je v podstatě případ ejektoru, ovšem pouze v případě pokud se útkovou trubicí nepohybuje útek. Pokud je do útkové trubice vložen útek, mění se v zásadě poměry ejektoru a lze jen těžko určit rychlost proudu vzduchu. Pro výpočet pomocí matematického modelu byl proveden odhad této rychlosti na základě určení statického tahu v útkové trubici hlavní trysky. Celkově lze říci, že pokles rychlosti vlivem útkové trubice hlavní trysky se projevuje velice slabě.

Na tab. 7.17 a tab. 7.18. jsou uvedeny hodnoty rychlosti útku V_{max} v závislosti na koeficientu C_{t2} .

$C_{t2} \cdot 10^{-4}$ [kg.m ⁻²]	7,9	5,9	3,9	1,9	1,06
V_{umax}	50,76	48,87	46,97	44,82	43,83

Tab. 7.17. Závislost V_{umax} na C_{t2} při $V_{t2} = 120$ [m.s⁻¹]

$C_{t2} \cdot 10^{-4}$ [kg.m ⁻²]	7,9	5,9	3,9	1,19	1,06
V_{umax}	42,78	41,75	40,63	39,57	38,76

Tab. 7.18. Závislost V_{umax} na C_{t2} při $V_{t2} = 90$ [m.s⁻¹]

Výsledné závislosti ukazují, že rychlost útku narůstá se zvyšujícím se koeficientem C_{t2} , z čehož vyplývají výhodné vlastnosti např. bavlněné útkové příze, oproti hedvábí nebo monofilu, které mají nízký koeficient C_{t2} .

V přílohách 51 a 52 jsou uvedeny průběhy rychlosti útku při změně hodnoty koeficientu odporu C_k při výstupní rychlosti vzduchu $V_{t2} = 120$ [m.s⁻¹].

V tab. 7.19. jsou uvedeny maximální hodnoty rychlosti útku V_{umax} při změně různých hodnot koeficientu odporu C_k při výstupní rychlosti útku z hlavní trysky $V_{t2} = 120$ [m.s⁻¹]

$C_k \text{ [kg.m}^{-2}\text{]}$	$V_{\text{max}} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$
$8 \cdot 10^{-5}$	43,42
$6 \cdot 10^{-5}$	42,00
$4 \cdot 10^{-5}$	40,41
$2 \cdot 10^{-5}$	38,60
$1,06 \cdot 10^{-4}$	46,97
$1,26 \cdot 10^{-4}$	46,23
$1,46 \cdot 10^{-4}$	47,28
$1,66 \cdot 10^{-4}$	48,26
$1,86 \cdot 10^{-4}$	49,17
$2,06 \cdot 10^{-4}$	50,03
$2,26 \cdot 10^{-4}$	50,82
$2,46 \cdot 10^{-4}$	51,56
$2,66 \cdot 10^{-4}$	52,27

Tab. 7.19. Závislost V_{max} na C_k při $V_{t2} = 120 \text{ m.s}^{-1}$

Na tab. 7.20. jsou uvedeny hodnoty maximální rychlosti útku při různých změnách hodnot koeficientu C_k při výstupní rychlosti vzduchu z hlavní trysky $V_{t2} = 90 \text{ m.s}^{-1}$

$C_k \text{ [kg.m}^{-2}\text{]}$	$V_{\text{max}} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$
$8 \cdot 10^{-5}$	41,23
$6 \cdot 10^{-5}$	40,20
$4 \cdot 10^{-5}$	39,09
$2 \cdot 10^{-5}$	37,87
$1,06 \cdot 10^{-4}$	40,63
$1,26 \cdot 10^{-4}$	43,28
$1,46 \cdot 10^{-4}$	44,08
$1,66 \cdot 10^{-4}$	44,88
$1,86 \cdot 10^{-4}$	45,52
$2,06 \cdot 10^{-4}$	46,19
$2,46 \cdot 10^{-4}$	47,40
$2,66 \cdot 10^{-4}$	47,94

Tab. 7.20. Závislost V_{max} na C_k při $V_{t2} = 90$
[m.s⁻¹]

Vidíme, že max rychlost narůstá se zvyšujícím se koeficientem C_k . Při dvojnásobném zvýšení koeficientu C_k dochází k nárůstu rychlosti útku asi o 4 m.s⁻¹. Tento nárůst je vyšší u větších hodnot koeficientu C_k . Tedy v nízkých hodnotách koeficientu C_k se nárůst projevuje jen velmi slabě.

7.3. Závěr

Závěrem lze říci, že uvedený matematický model pohybu útku v proudu vzduchu je schopen modelovat pohyb útku v kanálu profilového paprsku. Je nutné si ovšem uvědomit, že skutečné poměry v kanálu jsou ovlivňovány dalšími skutečnostmi, jako např. vliv porezních stěn v kanálu, různé hodnoty koeficientu odporu vzduchu v kanálu, uvnitř hlavní trysky a odpory balonující příze u odměřovače útku. Tyto poměry byly zjednodušeny, koeficienty odporů byly přibližně stanoveny výpočtem z tahové síly, kterou působí proud vzduchu na stojící útek. Obdobným způsobem byly stanoveny pasivní odpory a odstředivé síly na zjednodušeném balonu při strhu útku z bubínku odměřovače. Výsledky získané integrací matematického modelu však lze srovnat se skutečnými průběhy rychlosti útku v kanálu profilového paprsku. Z vypočtených průběhů rychlosti útku lze konstatovat, že maximální hodnoty rychlosti útku rostou asi o 20 % ve vztahu k narůstající výtokové rychlosti z hlavní trysky. Poměrně značný vliv na rychlost útku má hmotnost prohazované nitě a zejména druh materiálu (v našem případě bavlna). Obecně lze říci, že rychlost narůstá se snižující se hmotností útku.

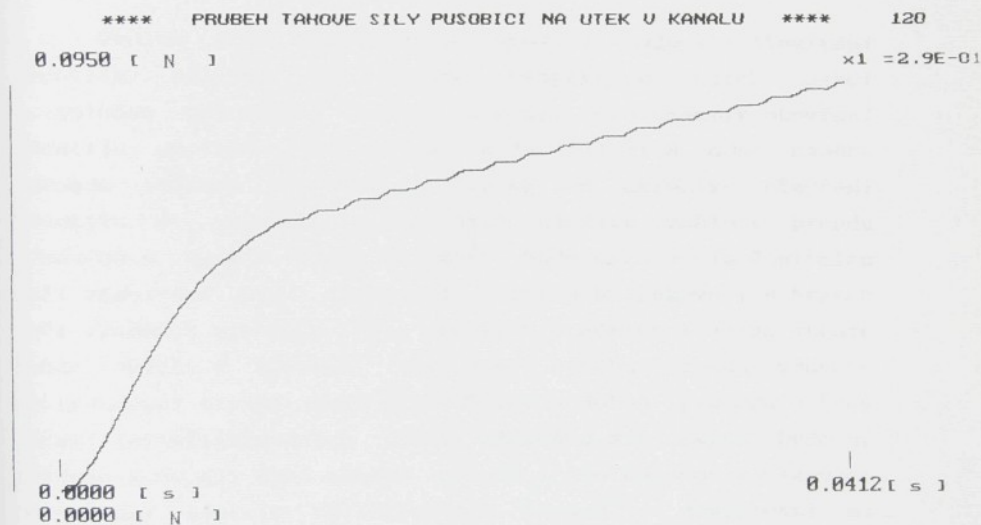
Řešení matematického modelu ukazuje též na poměrně malý vliv přífukovacích trysek na růst rychlosti útku. Ukazuje se, že s rostoucí rychlostí útku vliv přífukovacích trysek klesá.

Při sledování vlivu délky výstupní části hlavní trysky na rychlost útku lze konstatovat, že větší délka hlavní trysky zvyšuje rychlost útku. Vlivem zvětšení délky hlavní trysky se zvyšuje její výtoková rychlost.

Vliv koeficientu odporů vzduchu se projevuje v různých částech různě. Koeficient C_{t0} a C_{t1} v podstatě brzdí pohyb útku, C_{t2} a C_k působí příznivě na růst rychlosti útku. Vzhledem k tomu, že jsou koeficienty dány především materiálem prohazovaného útku, je nutno uvažovat s tím, že

se mění jejich hodnota společně. Na základě této skutečnosti dochází k tomu, že s rostoucími koeficienty se snižuje náběh rychlosti při vstupu útku do kanálu profilového paprsku. Naopak se situace zlepšuje ke konci prohozu. Vypočtené průběhy rychlostí útku ukazují menší vliv koeficientu C_{t0} a C_{t1} , naopak výrazněji se projevují změny koeficientů C_{t2} a C_k . Na obr. 7.20. je zakreslen z matematického modelu vypočtený průběh tahové síly působící na útek.

V příloze 53 je skutečně naměřený průběh rychlosti útku podle práce (8). Srovnáním vypočtených průběhů rychlostí z matematického modelu lze konstatovat značné přiblížení teoretického řešení ke skutečnosti.



Obr. 7.16 Průběh tahové síly vypočtený z matematického modelu

Proto je možné navrženého matematického modelu využít k simulaci prohozu útku v kanálu profilového paprsku a využít ho též pro optimalizaci prohozních poměrů.

8. Analýza náběhu rychlosti proudu vzduchu v kanálu profilového paprsku.

Pro kvalitní vzduchový prohoz při vysokých výkonech tkacích strojů je nutné přistoupit k řízenému otevírání přífukovacích trysek. Důvody k tomuto řešení je možné vidět především v kvalitnějším proudu vzduchu s ohledem na stabilizaci pohybujícího se útku v kanále profilového paprsku. Nezanedbatelným parametrem při pneumatickém prohozu je však spotřeba vzduchu, která výrazně zdražuje provoz pneumatických tkacích strojů a to především při vysokých výkonech.

Úkolem této kapitoly je prověřit možnosti otevírání ventilu přífukovacích trysek respektive jejich sekcí s ohledem na funkci hlavní trysky. Pro okamžik otevření ventilu přífukovacích trysek bude důležitá doba náběhu proudu vzduchu přífukovací trysky od okamžiku otevření ventilu do okamžiku maximálního nárůstu rychlosti proudu vzduchu v kanále. Tento parametr bude omezujícím činitelem při uzavírání, ale i otevírání ventilu přífukovacích trysek při vysokých výkonech. Při vysokých otáčkách tkacího stroje může dojít k případu, kdy doba náběhu proudu vzduchu přífukovací trysky bude srovnatelná s dobou prohozu a tedy uzavírání přífukovacích trysek přestává mít smysl. Obdobný význam bude mít doba náběhu proudu i pro časovou navázanost otevírání ventilu přífukovacích trysek v závislosti na poloze prohazovaného útku.

8.1. Měřicí stolice

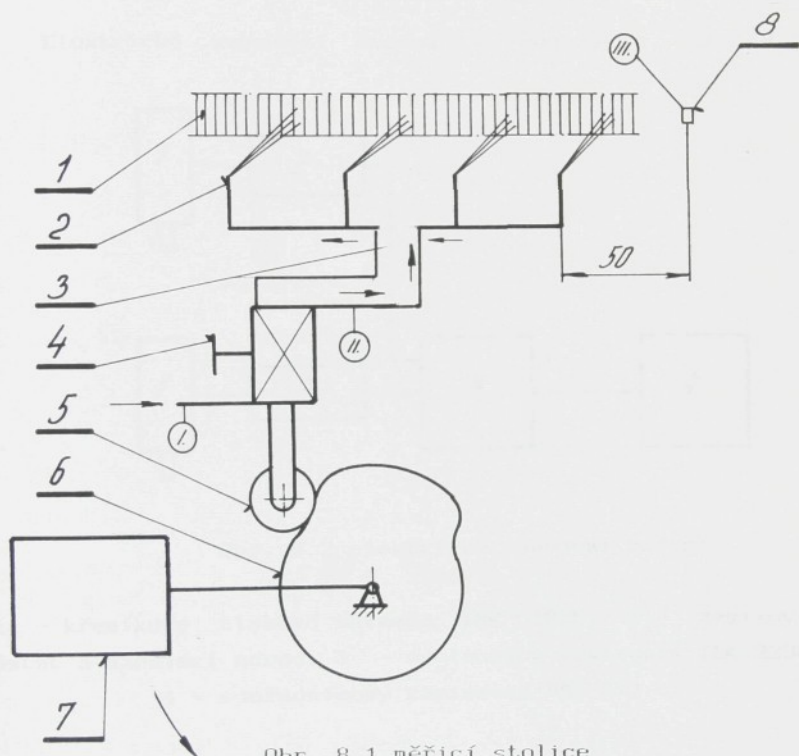
K předchozímu účelu byla zkonstruována měřicí stolice, jejíž schema je patrné na obr. 8.1.

Prívod vzduchu do měřícího zařízení je realizován prostřednictvím zásobníku vzduchu, požadovaný tlak dodávaného vzduchu zajišťují redukční ventily obdobným

způsobem jak bylo popsáno v kapitole (5).

Otvírání ventilu bylo zajišťováno mechanicky, pomocí originální vačky z tkacího stroje PN 165. Požadovaná doba otvírání ventilu přífukovacích trysek, případně hlavní trysky byla realizována pomocí kyvadla se závažím G, případně rázovým otevřením ventilu. Použitý ventil je rovněž převzatý z pneumatického tkacího stroje PN 165.

Na měřicích zařízeních byly instalovány sekce přífukovacích trysek (vždy po čtyřech přífukovacích tryskách



Obr. 8.1 měřicí stolice

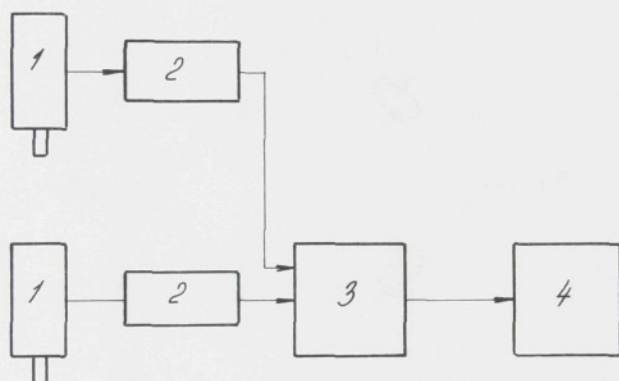
(1 - profilový paprsek, 2 - přífukovací tryska, 3 - přívodní hadice, 4 - ovládací ventil, 5 - kladka, 6 - ovládací vačka, 7 - kyvadlo, 8 - snímač).

na jednu sekci) a hlavní tryska ze stroje PN 165 výrobce Zbrojovka - Vsetín. Připojení trysek k ventilu bylo provedeno standardní hadicí. Pro experimentální sledování výše uvedených parametrů byla instalována tři měřicí místa

I, II, III, (viz obr. 8.1). V místě I a II byl sledován tlak v přívodním potrubí před a za ventilem. Poloha snímače III je patrná z obr. 8.1 a jeho úkolem bylo určit okamžik náběhu maximální rychlosti proudu vzduchu. Ze získaných průběhů tlaku v měřených místech je možné odečíst sledované doby zpoždění.

8.2. Elektrické zapojení měření.

Elektrické zapojení měření je patrné z obr. 8.2



Obr. 8.2 elektrické zapojení měření

(1 - křemíkové tlakové snímače TMK 51825, 2 - zesilovač můstku a napájecí zdroj, 3 - osciloskop Tektronix TEK 2230, 4 - souřadnicový zapisovač BAK 5T)

8.2.1. Vlastnosti snímačů TMK

Výrobce : SENSOR, spo. s.r.o. Rožnov.

Druh : křemíkový membránový snímač s integrovanými měrnými piezorezistory (tenzometr) a kompenzačními rezistory na jedné křemíkové membráně v držáku a ochranném pouzdru se

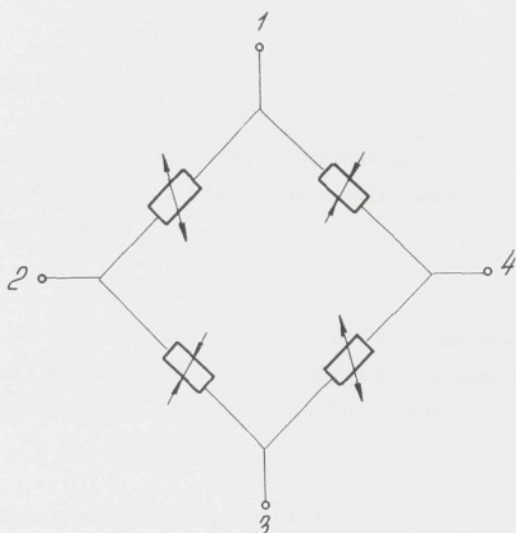
čtyřmi vývody.

Rozsah : TMK 51825 100 kPa
TMK 61825 1 MPa

Rezistance: 2,2 k Ω

Dynamické vlastnosti: vlastní rezonance utlumená, šířka
přenášeného frekv. pásma větší než
10 kHz.

Zapojení snímače je viz. obr. 8.3



Obr. 8.3 schéma zapojení snímače bez
kompenzačních rezistorů

8.2.2. Zesilovač můstku a napájecí zdroj

Zesilovač vlastní konstrukce katedry text. strojů, využívá integrované operační zesilovače Tesla typ WSH 526 B a MAA 741. Zesílení plynule proměnné v rozsahu 1 až 3 300, šířka přenášeného frekvenčního pásma větší než 10 kHz.

Zdroj pro napájení snímače: Stejnosměrné napětí 5V stabilizováno integrovaným obvodem MAA 7805.

8.2.3. Osciloskop TEK 2230

Je dvojkanálový číslicový, paměťový osciloskop s možností přepisu naměřené závislosti XY zapisovačem.

Byl použit v režimu rychlého přepínání kanálů knitočtem 0,5 MHz. Tím je časová koincidence obou kanálů zajištěna s přesností $2\mu\text{s}$.

8.2.4. Zapisovač BAK 5T

Je standardní souřadnicový zapisovač. Bylo využito písátka s mikrokuličkou, které provádí zápis s velkou rozlišovací schopností.

Vzhledem k tomu, že bylo použito dvoukanálového osciloskopu bylo možno měřit současně vždy pouze 2 měřicí místa a proto byla měření vzájemně kombinována.

8.3. Doba otevírání ovládacího ventilu

Doba otevírání ovládacího ventilu je dána tvarem otevírací vačky a parametry použitého kyvadla, případně dobou rázu. Pro nastavení vhodného otevíracího režimu ventilu bylo využíváno různého okamžiku počátku otevírání ventilu vzhledem k odpovídající poloze kyvadla. Otevírací úhel ventilu je dán konstrukcí vačky a jeho velikost je 22° .

Na obr. 8.4 je schema kyvadla, jehož parametry jsou:

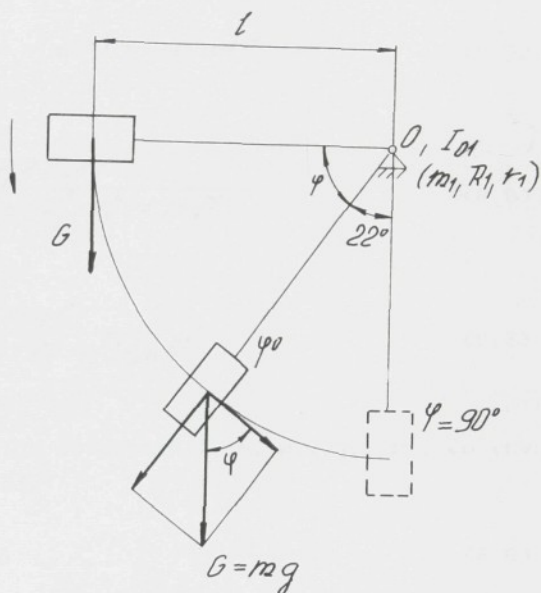
m - hmotnost závaží kyvadla
= 5,5 kg

l - délka ramena
= 0,26 m

R_1 - vnější průměr hřídele
 $= 0,025 \text{ m}$

r_2 - vnitřní průměr hřídele
 $= 0,02 \text{ m}$

m_1 - hmotnost hřídele
 $= 2,46 \text{ kg}$



Obr. 8.4. schéma kyvadla.

Dobu otevírání ventilu vačkou t počítáme pomocí pohybové rovnice. 8.1 :

$$I_o \ddot{\varphi} = \sum M_{iO} \quad (8.1)$$

kde hmotný moment setrvačnosti je :

$$I_o = I_{o1} + m l^2 \quad (8.2)$$

a hmotný moment hřídele vačky k ose otáčení je

$$I_{O1} = 0,5 m_1 (R_1^2 + r_1^2) \quad (8.3)$$

V našem případě (jak ukazuje obr. 8.4):

$$M_{iO} = mgl \cos \varphi \quad (8.4)$$

po dosazení do (8.1) dostaneme:

$$\ddot{\varphi} (0,5 m_1 (R_1^2 + r_1^2) + m l^2) = mgl \cos \varphi \quad (8.5)$$

odkud:

$$\ddot{\varphi} = \frac{mgl \cos \varphi}{0,5 m_1 (R_1^2 + r_1^2) + m l^2} \quad (8.6)$$

$$\text{položíme-li } k = \frac{mgl}{0,5 m_1 (R_1^2 + r_1^2) + m l^2} \quad (8.7)$$

Po dosazení předchozích parametrů l , m , m_1 , R_1 , r_1 , do rovnice (8.7) pak nám vychází:

$$k = 37,6 \quad (8.8)$$

použijeme-li vztah:

$$\ddot{\varphi} = \frac{d(\dot{\omega})}{2 d\varphi} \quad (8.9)$$

a integrujeme:

$$\int d(\dot{\omega}) = \int 2k \cos \varphi \cdot d\varphi \quad (8.10)$$

dostaneme tvar pro úhlovou rychlost:

$$\omega = \sqrt{2k \sin \varphi} \quad (8.11)$$

Použijeme-li vztahů:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (8.12)$$

Dostaneme upravenou diferenciální rovnici ve tvaru:

$$dt = \frac{d\varphi}{\sqrt{2K \sin \varphi}} \quad (8.13)$$

a jejím řešením dostaneme otevírací dobu ventilu:

$$t = \frac{1}{\sqrt{2K}} \int_{68^\circ}^{90^\circ} \frac{d\varphi}{\sqrt{\sin \varphi}} \quad (8.14)$$

Výraz (8.14) nelze řešit analyticky a proto bylo využito numerického řešení podle práce (6). Vztah (8.14) přepíšeme do tvaru:

$$\begin{aligned} \int_{68^\circ}^{90^\circ} \frac{d\varphi}{\sqrt{\sin \varphi}} &= 2\sqrt{2} F\left(\alpha, \frac{\sqrt{2}}{2}\right) \\ &= 2\sqrt{2} \left[F\left(\alpha_2, \frac{\sqrt{2}}{2}\right) - F\left(\alpha_1, \frac{\sqrt{2}}{2}\right) \right] \end{aligned} \quad (8.15)$$

kde: F - eliptický integrál I - druhu

hodnota α vyplývá ze vztahu:

$$\alpha = \arcsin \sqrt{\frac{2 \sin \frac{\varphi}{2}}{1 + \sin \frac{\varphi}{2} + \cos \frac{\varphi}{2}}} \quad (8.16)$$

v našem případě jsou:

$$\alpha_1 = \arcsin \sqrt{\frac{2 \sin \frac{68^\circ}{2}}{1 + \sin \frac{68^\circ}{2} + \cos \frac{68^\circ}{2}}} \quad (8.17)$$

$$\alpha_2 = \arcsin \sqrt{\frac{2 \sin \frac{90^\circ}{2}}{1 + \sin \frac{90^\circ}{2} + \cos \frac{90^\circ}{2}}} \quad (8.18)$$

po vyčíslení dostaneme:

$$\alpha_1 = \arcsin 0,684 = 43,15^\circ \quad (8.19)$$

$$\angle_2 = \arcsin 0,765 = 49,90^\circ \quad (8.20)$$

Pomocí tabulky v (6) máme :

$$F_1 (43^\circ, 45^\circ) = 0,78628 \quad (8.21)$$

$$F_2 (50^\circ, 45^\circ) = 0,92537 \quad (8.22)$$

a

$$F_2 - F_1 = 0,92537 - 0,78628 = 0,13909 \quad (8.23)$$

dosazením hodnoty (8.23) do rovnice (8.15) máme :

$$\int_{68^\circ}^{90^\circ} \frac{d\varphi}{\sqrt{S/12} \varphi} = 0,392 \quad (8.24)$$

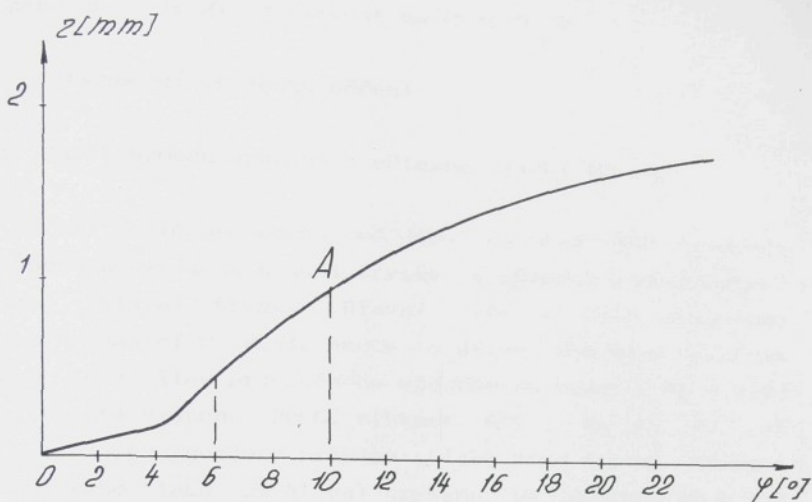
Celková doba pro otevření ovládacího ventilu při otočení vačky o úhel 22° (jak ukazuje obr. 8.4) bude :

$$t = \frac{1}{\sqrt{2K}} \cdot 0,392 = 0,115 \cdot 0,392 = 0,045 \text{ s} \quad (8.25)$$

Uvedená hodnota času t odpovídá době pootočení kyvadla před jeho dolní úvratí za předpokladu, že kyvadlo bylo vypuštěno z vodorovné polohy. Za těchto podmínek bylo prováděno vlastní měření.

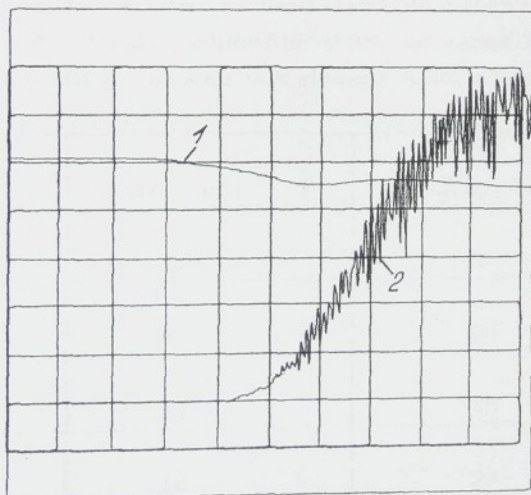
Dobu otevření tj. pootočení kyvadla o $\varphi = 22^\circ$ lze měnit v závislosti na místě vypuštění kyvadla, případně na umístění účinné části u v různém místě pohybu kyvadla.

Na obr. 8.5 je znázorněn průběh zdvihu ventilu v závislosti na úhlu pootočení vačky. Na obr. 8.6 je průběh náběhu tlaku v kanále při otevření ventilu pomocí kyvadlem. S ohledem na vymezení vůle mezi kladkou a vačkou a otevřením ventilu pro maximální průtok je úhel pootočení vačky pro plné otevření ventilu při $\varphi = 4^\circ$ čemu odpovídá doba otevření $t = 9 \text{ ms}$.



Obr. 8.5 Průběh zdvihu ventilu v závislosti na úhlu pootočení vačky.

Místo A, kde průchod tlaku ventilem je prakticky maximální



Obr. 8.6 Průběh náběhu tlaku v kanále při otevření ventilu kyvadlem.

(1 - náběh tlaku za ventilem, 2 - náběh tlaku v kanále)

Zde na obr. 8.6 je časová základna 2 ms/dílek a citlivost na 1 je 2V, citlivost na 2 je 0,2V.

8.4. Zhodnocení výsledku měření

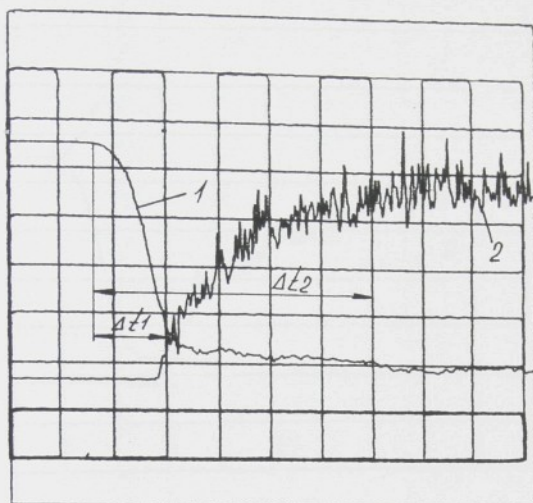
8.4.1. Náběh proudu vzduchu s účinkem hlavní trysky

Měření bylo provedeno ve dvou částech. Byl sledován náběh proudu vzduchu hlavní trysky v různých vzdálenostech od ústí hlavní trysky. Hlavní tryska byla připojena k ventilu hadicí z umělé hmoty o délce 250 mm a vnitřním průřezu 10mm. Tlak přiváděného vzduchu do ventilu $P_1 = 0,49$ MPa, teplota vzduchu 20°C, vlhkost 65%. Na obr. 8.7 až obr. 8.11 jsou uvedeny průběhy tlaku před hlavní tryskou a dynamického tlaku za hlavní tryskou ve vzdálenostech 150 ÷ 350 mm od ústí hlavní trysky. Citlivost na průběh tlaku před hlavní tryskou je 2V/dílek. Citlivost na průběh tlaku v kanálu je 0,2V/dílek. Časová základna je 5 ms/dílek. (Na těchto obrázcích bereme náběh proudu za ventilem v absolutní hodnotě.)

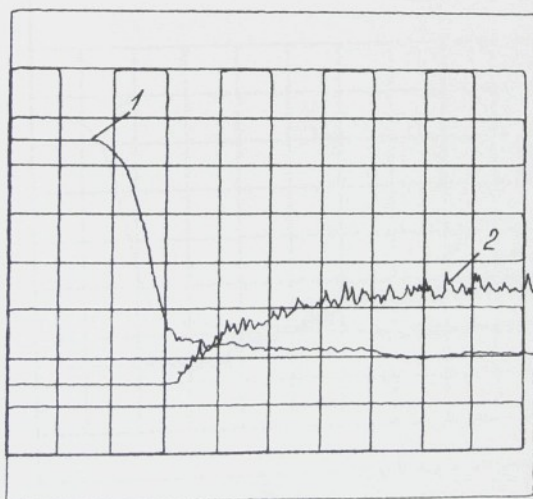
V tab. 8.1. jsou uvedeny časy $\Delta t_1, \Delta t_2$ v daném místě za hlavní tryskou. Čas Δt_1 je doba od okamžiku otevření ventilu (tlak je měřen za ovládacím ventilem) do náběhu 10% tlaku v měřeném místě. Čas Δt_2 odpovídá době od okamžiku otevření ovládacího ventilu do náběhu 90% dynamického tlaku v měřeném místě.

X [m]	Δt_1 [ms]	Δt_2 [ms]
150	7,5	27,5
200	8	32
250	10	35
300	14	37

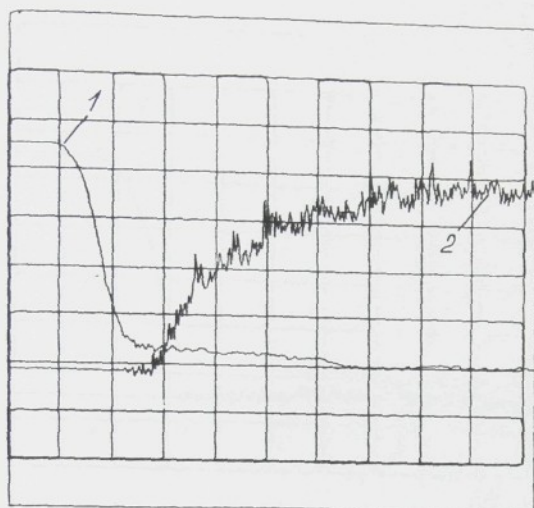
Tab. 8.1. doba okamžiku otevření ventilu.
(X - vzdálenost snímače od ústí hlavní trysky)



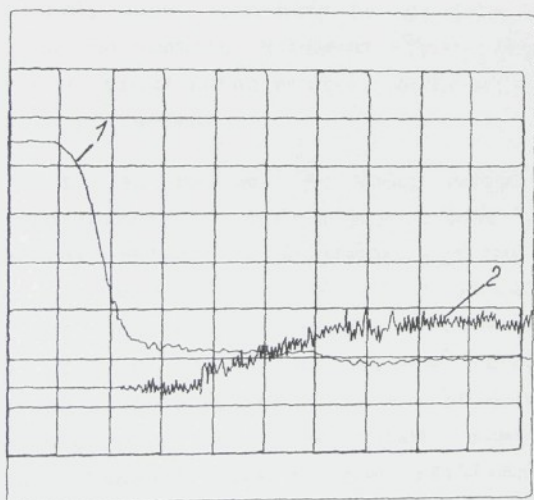
Obr. 8.7 Náběh proudu vzduchu ve vzdálenosti 150 mm od hlavy trysky (1 - náběh za ventilem, 2 - náběh v kanálu)



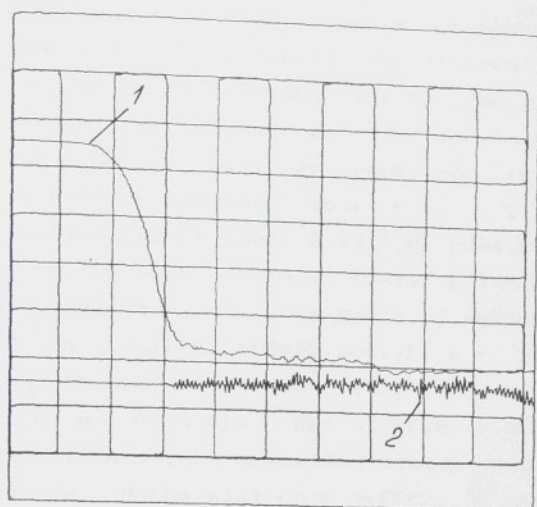
Obr. 8.8 Náběh proudu vzduchu ve vzdálenosti 200 mm od hlavy trysky (1 - náběh za ventilem, 2 - náběh v kanálu)



Obr. 8.9 Náběh proudu vzduchu ve vzdálenosti 250 mm od hlavy trysky (1 - náběh za ventilem, 2 - náběh v kanálu s citlivostí 0,5/dílek)



Obr. 8.10 Náběh proudu vzduchu ve vzdálenosti 300 mm od hlavy trysky (1 - náběh za ventilem, 2 - náběh v kanálu)



Obr. 8.11 Náběh proudu vzduchu ve vzdálenosti 350 mm od hlavy trysky (1 - náběh za ventilem, 2 - náběh v kanálu)

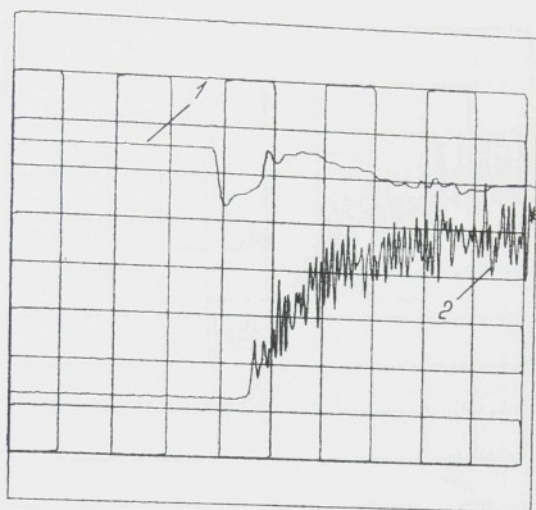
Naměřené hodnoty času jsou závislé na délce přívodní hadice od ovládacího ventilu k hlavní trysce. Nepředpokládá se, že by bylo v praxi nutné použít delší přívodní hadice než byla použita při měření.

Z tab. 8.1. je patrné, že doba náběhu narůstá se zvyšující se vzdáleností od ústí hlavní trysky. Nárůst času je však nelineární vzhledem k vzdálenosti od hlavní trysky. Se zvětšující se vzdáleností se přírůstek času snižuje. Tento jev je způsoben výrazným poklesem tlaku ve vzdálenějších místech od hlavní trysky (hodnotíme 90% náběhu). Naměřené hodnoty průběhu tlaku v přívodním potrubí i kanále nejsou chápány absolutně, slouží pouze pro účely časových relací. Ukazují však alespoň přibližně charakter průběhu tlaku v přívodním potrubí a přibližně náběh rychlosti v kanále profilového paprsku.

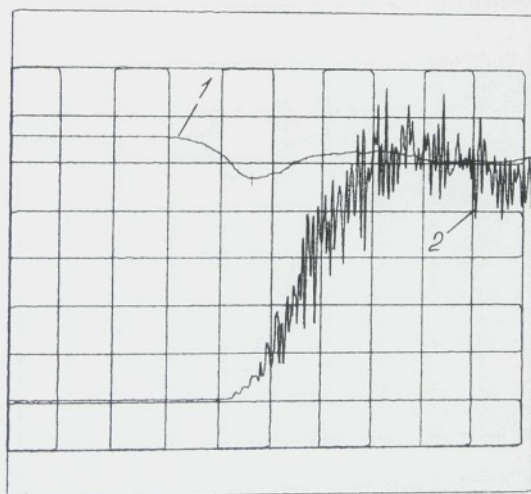
8.4.2. Náběh proudu vzduchu s účinkem přífukovacích trysek

Na obr. 8.12 až 8.14 jsou uvedeny průběhy tlaků před ovládacím ventilem a v kanále profilového paprsku ve vzdálenosti 50 mm od přífukovací trysky. Zde jsou použity citlivosti stejné s předchozími případy, ale časová základna je 2 ms/dílek. Měření bylo provedeno při činnosti třech přífukovacích trysek společně (obr. 8.12) v jedné sekci, dvou přífukovacích trysek (obr. 8.13) v jedné sekci, jedné přífukovací trysky (obr. 8.14). Délka přívodního potrubí (hadice) od ovládacího ventilu k sekci přífukovacích trysek byla $l = 250$ mm, vnitřní průměr potrubí $d = 3$ mm, rozteč přífukovacích trysek $D = 80$ mm. Tlak před ventilem, před jeho otevřením byl 0,55 MPa. Při otevření ventilu dochází k výraznému poklesu tlaku odpovídajícímu v časovém průběhu otevření ventilu. Potom následuje zvýšení tlaku zhruba asi na původní hodnotu (asi po $6 \div 8$ ms), tlak se ustálí na hodnotě asi o 15 % nižší vzhledem k tlaku před otevřením ventilu.

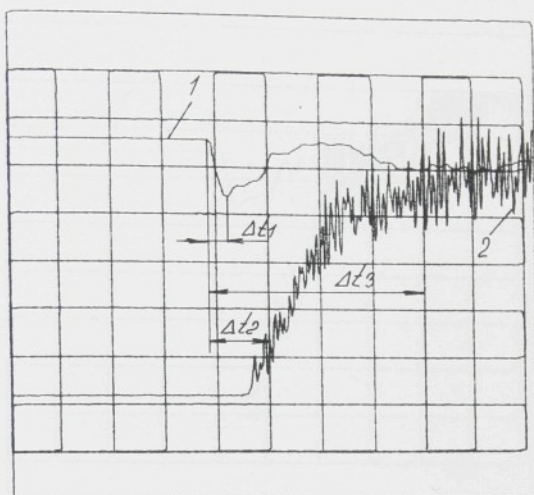
Na obr. 8.12a. až obr. 8.14a. jsou průběhy s rychlým otevřením ventilu téměř skokovým. V tomto případě dochází k velice výraznému poklesu a zakmitání vzduchového sloupce v potrubí. V případě obr. 8.12b. až obr. 8.14b. byl ventil otevřen pomaleji asi za 3 ms. V tomto případě je průběh tlaku v potrubí podstatně klidnější, i když i zde dochází k poklesu po otevření ventilu a následnému zvýšení tlaku.



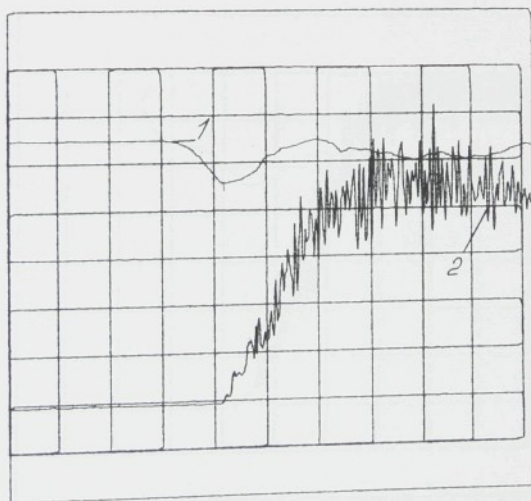
Obr. 8.12.a Náběh tlaku při rychlejší otevření ventilu s třemi přifukovacími tryskami v činnosti (1 - náběh za ventilem, 2 - náběh v kanálu)



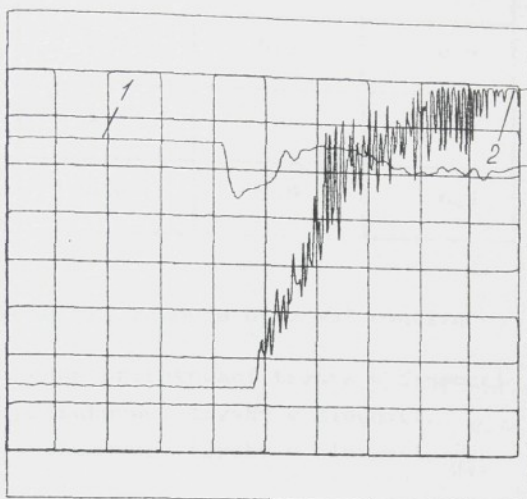
Obr. 8.12.b Náběh tlaku při pomalejší otevření ventilu s třemi přifukovacími tryskami v činnosti (1 - náběh za ventilem, 2 - náběh v kanálu)



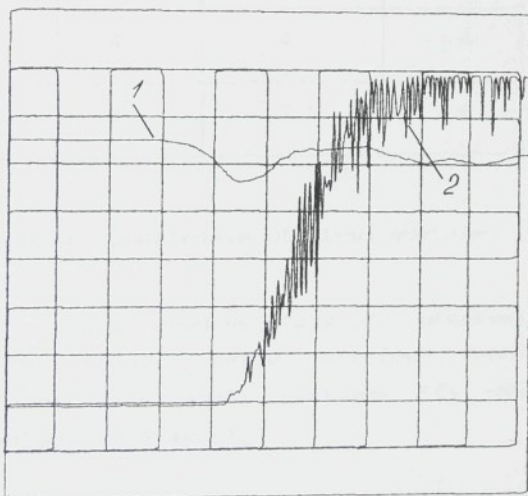
Obr. 8.13.a Náběh tlaku při rychlejšímu otevření ventilu s dvěma přifukovacími tryskami v činnosti (1 - náběh za ventilem, 2 - náběh v kanálu)



Obr. 8.13.b Náběh tlaku při pomalejšímu otevření ventilu s dvěma přifukovacími tryskami v činnosti (1 - náběh za ventilem, 2 - náběh v kanálu)



Obr. 8.14.a Náběh tlaku při rychlejší otevření ventilu s jednou přifukovací tryskou v činnosti
(1 - náběh za ventilem, 2 - náběh v kanálu)



Obr. 8.14.b Náběh tlaku při pomalejší otevření ventilu s jednou přifukovací tryskou v činnosti
(1 - náběh za ventilem, 2 - náběh v kanálu)

	E	F	G
Δt_3 [ms]	0,5	0,5	0,5
Δt_4 [ms]	1,8	2	2,2
Δt_5 [ms]	5,0	5,5	6,5

Tab. 8.2. Doba při rázovém otevření ventilu.

- E - jen jedna přifukovací tryska v činnosti,
 F - dvě přifukovací trysky v činnosti,
 G - tři přifukovací trysky v činnosti,

	E	F	G
Δt_3 [ms]	3	3	3
Δt_4 [ms]	4	4	4
Δt_5 [ms]	7	7,5	8

Tab. 8.3. Doba při pomalejším otevření ventilu.

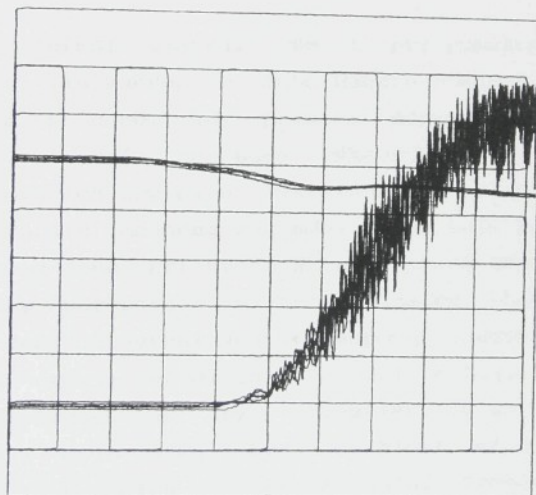
V tab. 8.2. jsou uvedeny časy při otevření ventilu rychlostí 0,5 ms (téměř rázové otevření ventilu) pro případy, kdy jsou v činnosti postupně tři, dvě a jedna přifukovací tryska v téže sekci.

Čas Δt_3 ukazuje dobu do okamžiku otevření ventilu.

Čas Δt_4 ukazuje dobu od okamžiku otevření ventilu do okamžiku náběhu 10% tlaku v kanále. Měření ukazuje, že doba vzrůstá s počtem přifukovacích trysek v činnosti. Doba Δt_5

určuje dobu náběhu od okamžiku otevření ventilu do náběhu 90% maximálního dynamického tlaku v kanálu profilového paprsku případu se třemi přífukovacími tryskami v činnosti. Všechny případy jsou srovnány se stejnou hodnotou tlaku. Tabulka ukazuje rovněž značný vliv na velikost této doby s ohledem na počet přífukovacích trysek v činnosti v jedné sekci. Obdobné výsledky můžeme vidět i v případě pomalejšího otevírání ovládacího ventilu (doba otevírání 3 ms) viz. tab. 8.3. Malý rozdíl je mezi jednotlivými případy v počátku náběhu (10%). Výraznější rozdíl lze spatřovat v časech Δt_5 .

Na obr. 8.15 je uveden průběh náběhu proudu vzduchu s jednou přífukovací tryskou v činnosti při několika opakovaných měřeních (rozptyl). Průběh dokumentuje velmi dobrou opakovatelnost měření.



Obr. 8.15. Průběh náběhu proudu vzduchu v činnosti při několika opakovaných měřeních.

8.5. Závěr.

Měření ukázala, že větší počet přífukovacích trysek snižuje strmost náběhu proudu vzduchu v kanále a tím prodlužuje jeho dobu náběhu i když počátek náběhu počtem trysek v činnosti příliš ovlivněn není. Tyto závěry platí pro dané parametry přívodního potrubí (jak bylo popsáno v předchozím) a počáteční tlak. Větší počet přífukovacích trysek současně v činnosti v jedné sekci snižuje též max. hodnotu dynamického tlaku proudu v kanále.

Doba náběhu se prodlužuje o dobu otevření ovládacího ventilu, jak vyplývá z naměřených průběhů tlaků při rychlém a pomalém otevření ventilu. Při 600 ot/min. hlavního hřídele tkacího stroje odpovídá doba náběhu proudu vzduchu 12 ms pootočení hlavního hřídele o 43° při otevření vačkou (doba otevření vačkou $t = 9$ ms).

Uvedená měření ukazují, že i při pomalém otevírání ovládacího ventilu vačkou je doba náběhu poměrně krátká (12 ms) vzhledem k době, kdy probíhá doprava a příraz útku tkanině. To znamená, že bude výhodné ovládat jednotlivé sekce přífukovacích trysek v závislosti na poloze čela útku v prohozním kanálu. Zejména poslední sekce může být otevřená poměrně krátkou dobu. Při vyšších rychlostech tkacího stroje tyto hodnoty narůstají a při pomalém otevírání by nepřinášely doby uzavření ventilu úsporu vzduchu. Naměřené doby náběhu určují předstih otevření ovládacích ventilů přífukovacích trysek tak, aby v okamžiku kdy se v příslušné sekci nachází čelo útku byla rychlost proudu vzduchu v kanálu z přífukovacích trysek maximální. Uvedené časování přífukovacích trysek vede ke značné úspoře vzduchu.

9. Celkový závěr

Problematika vzduchového prohozu na pneumatických tkacích strojích patří mezi určující parametry horní hranice výkonu těchto strojů.

Problém řešení je velice složitý s ohledem na to, že se jedná o proud vzduchu v otevřeném kanálu s pórezními stěnami, jehož stabilita je udržována kromě hlavní prohozní trysky ještě celou řadou dalších tzv. přífukovacích trysek, které navíc produkují přídavný proud vzduchu různé kvality v závislosti na jejich výrobních nepřesnostech.

Z toho vyplývá, že přesné teoretické řešení tohoto problému je prakticky nemožné. Bylo proto přistoupeno ke kombinaci řešení teoretického (především pohyb útku) a experimentálního průzkumu různých proudových poměrů v kanálu profilového paprsku. Problematika byla zpracována v disertační práci rozdělené do tří hlavních částí.

V první části (kapitola 5) je řešený problém tlakového pole kanálu profilového paprsku. Cílem bylo zmapovat chování proudu vzduchu účinkem přífukovací trysky. Z výsledků vyplývá, že:

- použité přífukovací trysky plní především funkci stabilizace vzduchového proudu a tím i prohazovaného útku v kanálu
- na kvalitu prohozu má značný vliv nastavení jednotlivých přífukovacích trysek s důrazem na to, že je nutné seřizovat každou přífukovací trysku samostatně, pokud není výrobně zajištěna naprostá shodnost jednotlivých trysek
- měření dále ukázalo, že vzájemné ovlivnění jednotlivých přífukovacích trysek je poměrně malé a optimální vzdálenost nyní vyráběných používaných přífukovacích trysek bude kolem 80 mm
- úhel natočení trysky do kanálu profilového paprsku vzhledem k ose ve směru prohozu se pohybuje kolem 5°

- na prohoz má značný vliv kvalita hlavní trysky, jejíž hlavním úkolem je urychlit útek na příslušnou prohozní rychlost a zároveň ho dopravit do prohozního kanálu
- urychlení útku vlivem přífukovacích trysek není velké

Druhá část disertační práce (kapitola 7) je pokusem o matematický model pohybu útku v proudu vzduchu v prohozním kanálu. Byla sestavena pohybová rovnice ve tvaru:

$$m_a = \frac{1}{2} [C_{t1} l_1 (V_{t1} - V_u)^2 + C_{t2} l_2 (V_{t2} - V_u)^2 + C_k x (V_v(x) - V_u)^2 - C_{t0} l_0 V_u^2] - F_1 \quad (9.1.)$$

Pro sestavení této pohybové rovnice byly uvažovány :

- tah, který působí na útek v proudu vzduchu jednak v kanálu profilového paprsku a v hlavní trysce.

- odporové síly působí na útek před vstupem do kanálu do hlavní trysky včetně působení zjednodušeného balonu útku vznikajícího při strhu útku z bubínku odměřovače,

- odporové koeficienty (C_0 , C_{t1} , C_{t2} , C_k) byly určeny z měřené tahové síly staticky, to je pro případ, že útek se nepohybuje,

- rychlost proudu vzduchu v kanálu byla určena experimentálně (viz. kapitola 6),

- hodnoty rychlosti v hlavní trysce i v její útkové trubici byly určeny jen velice přibližně v souvislosti s tahovými silami, kterými působí proud vzduchu na útek. V hlavní trysce je proud vzduchu silně ovlivněn přítomností útku.

V kapitole 7.2. jsou uvedeny vlivy hmotnosti materiálu prohazovaného útku na jeho prohozní rychlost, dále vliv velikosti výtokové rychlosti z hlavní trysky, vliv délky hlavní trysky, vliv odporu vzduchu, vliv odporu působící na

prohazovaný útek v úseku před vstupem do hlavní trysky a další.

Jako výsledek řešení byly získány průběhy rychlosti útku v kanálu profilového paprsku (viz obr. 7.4 až obr. 7.15 a příloha 7.3. až příloha 50 a nakonec i průběh tahové síly v útku viz. obr.7.16). Z toho vyplývá, že získané průběhy rychlosti útku se velmi přibližují skutečným závislostem rychlosti útku v proslupu, jak ukazuje příloha 49 práce (8). Toto zjištění potvrzuje použitelnost uvedeného matematického modelu pro analýzu vlivů na prohoz útku. Celkově lze říci, že matematický model umožňuje rozlišit významnost vlivů jednotlivých zkoumaných parametrů na velikost prohozní rychlosti útku. Potvrzuje snadnější prohoz materiálu lehčích a méně hladkých. Pozitivní vliv na prohoz má délka hlavní trysky a snižování odporu působící na útek před hlavní tryskou. Konkrétní vlivy všech těchto parametrů lze na sestaveném matematickém modelu snadno srovnávat.

Ve třetí části byl sledován především problém náběhu rychlosti proudu vzduchu v kanálu od přifukovacích trysek i hlavní trysky vzhledem k okamžiku otevření ovládacího ventilu. Tato záležitost je velice důležitá s ohledem na vytvoření optimálního režimu časování prohozu útku včetně stanovení optimální doby otevření ovládacího ventilu. Bylo konstatováno, že delší doby otevření ovládacího ventilu značně zvyšují spotřebu vzduchu, což se projevuje ve velkém nárůstu energetické náročnosti prohozního mechanismu stroje.

Při řešení se ukázalo, že doby náběhu rychlosti proudu vzduchu se v daných podmínkách pohybují v rozmezí asi do 6 ms, neuvažujeme-li přitom dobu otevírání ventilu. Doba otevírání ventilu byla při provedených měřeních realizována ve třech hodnotách a to 0,5 ms, 3 ms a 9 ms. Kromě této doby otevření ventilu délku náběhu rychlosti proudu vzduchu ovlivňují ještě další faktory jako počet přifukovacích trysek v jedné sekci a délka i průměr přívodního potrubí.

Z uvedeného vyplývá, že pokud zkrátíme dobu otevření

ventilu téměř na nulu (otevřeme ventil rázem) bude úhel pootočení na hlavní hřídeli pneumatického tkacího stroje připadajícího na dobu náběhu 6 ms činit asi 21° . To je hodnota předstihu, s kterým musí být ventil otevřen, aby příslušné přífukovací trysky splnily svou funkci. Samozřejmě je nutno k této hodnotě přičíst příslušnou dobu otevírání ovládacího ventilu. Řešení rovněž ukazuje, že bude výhodné provádět časování ventilu i pro vyšší výkony, než je zde uvedených 600 ot/min.

Uvedené závěry v předložené disertační práci mohou sloužit především výrobcům pneumatických tkacích strojů a to z hlediska optimálního seřízení prohozu při maximální úspoře spotřeby vzduchu. Výsledky mohou být využity při dalším řešení pohybu útku v proudu vzduchu v kanálu profilového paprsku jako je např. určení polohy útku v prohozním kanálu, tvar prohazovaného útku apod, případně pro další zpřesnění pohybové rovnice pohybu útku v rámci řešení matematického modelu.

10. Přehled použité literatury

1. Adámek, K. : Dynamické profily v prohozním kanálu. Č. zprávy 7/87 Elitex, koncernový výzkumný ústav, Liberec.
2. Adámek, K. a kolektiv : Vyhledávací výzkum tkaní - souhrnná zpráva č. 19/88.
3. Adámek, K. : Měření trysek K16 , K18, Liberec 1978.
4. Adámek, K. a kolektiv : Studium proudění za tryskou vzduchového tkacího stavu, Liberec 1980.
5. Adámek, K. a kolektiv : Pomocné trysky č. zprávy 12/86 .
6. Abramovitz : Příručka matematických funkcí, Moskva 1979.
7. Duxbury, Lord, Vaswani : A study of some faktors involved in pneumatic weft propulsion, Journal of the Textile institut. Proceeding 10/1959 of Japan.
8. Do Dang Hieu : Studie procesu prohozu útku s přidavnými tryskami a profilovým paprskem na pneumatických tkacích strojích, VŠST - Liberec 1989
9. Hruš, M., Bezděk J. : Impulsní měřič aerodynamické účinnosti konfuzoru. Výzkumná zpráva VŠST, Liberec 1982.

10. Hruš, M., Bezděk J. : Proudění za tryskou vzduchového tkacího stavu II., 61020/20.
11. Ishida, I. : Air - jet loom, present and future. Part 2, Why weft can be ejected into warp shed, Japan Textile News, No 7/1982.
12. Jansa, M. : Teoretické úvahy o prohozu tryskových stavů. Sborník přednášek ČSVTS, Liberec 1967.
13. Koloc, Z. : Řešení pneumatického prohozu útku dodávaného odvíječem. Interní vědecká zpráva KVÚ Elitex, Liberec 1983.
14. Krause : Přítomnost a budoucnost pneumatických tkacích strojů. Informační přehled VÚB č. 3/1981.
15. Kopecký : Měření rychlostního pole v kanálu profilového paprsku tkacího stroje Laserovým dopplerovským anemometrem č. 31/88.
16. Minony UNO : A study of air - jet looms, Journal of the Textile Machinery society of Japan No 1,7/1961, No 2,3 / 1972.
17. Nosek, S. : Fyzikální zákonitosti energetické náročnosti tkací techniky, Textil č. 10/1984 SNIL Praha 1984.
18. Nosek, S. : Tryskové prohozy, 14. Mezinárodní tkačská konference 2 - 4 Juna 1982 ČSVTS.

19. Nosek, S. : Teorie tkacího procesu 1,2,3 díl 1988, 1989.
20. V. Natarajan, M. Tech : Pneumatický prohoz útku u přírazových mechanismů tkacího stroje - kandidátská disertační práce, VŠST - Liberec 1989.
21. Pilipenko, V. A. : Studie procesu prohozu útku na pneumatickém tkacím stavu. Textilní strojírenství č. 47 - 48/1963 SNTL Praha 1963.
22. Pilipenko, V. A. : Pnevmatičeskie mechanizmy prokladyvanija niti, Moskva - Legkaja industrija 1977.
23. Pilipenko, V. A. : Sledování procesu prohozu nitě vzduchem, Textilnaja promyšlenost č. 1/1972.
24. Pilipenko, V. A. : Sledování rychlosti útku na tryskovém stavu vzduchu IVVZ, Technologija tekstilnoj promyšlenosti č. 1,3/1964, č. 2/1965.
25. Pávek, M. : Československé textilní strojírenství, Brno, Technické muzeum 1981
26. Prášil V. : Rozbor a optimalizace procesu odvíjení útkové

nitě na tkacích strojích, Liberec 1982.

27. Talavášek, O., Svatý V. : Bezčlunkové stavy, SNTL Praha 1975.

28. Talavášek, O. : Konstrukce a výpočty tkacích stavů, Skripta, Liberec 1975.

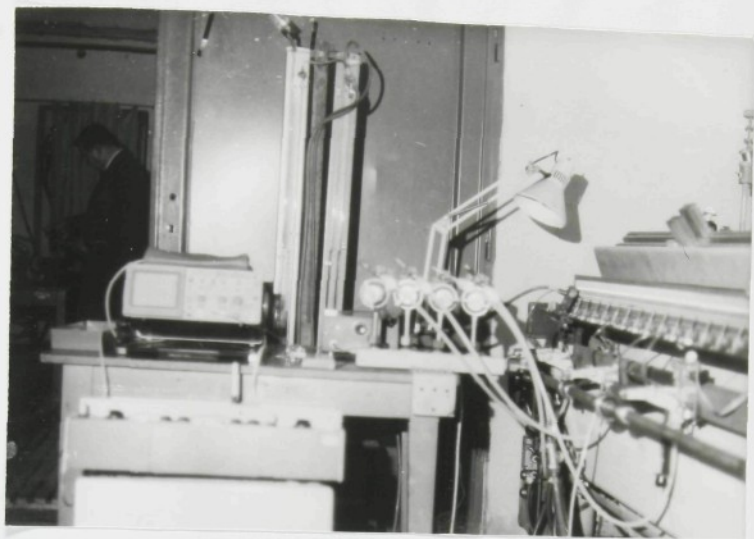
29. Tran Minh Nam : Studie procesu prohozu útku na pneumtickém tkacím stroji metodou simulátoru prohozu. Kandidátská disertační práce, VŠST - Liberec 1984.

30. Vondráček, V., Hlinka M. : Mechanika IV - Mechanika tekutin a termomechanika, SNTL Praha 1977.

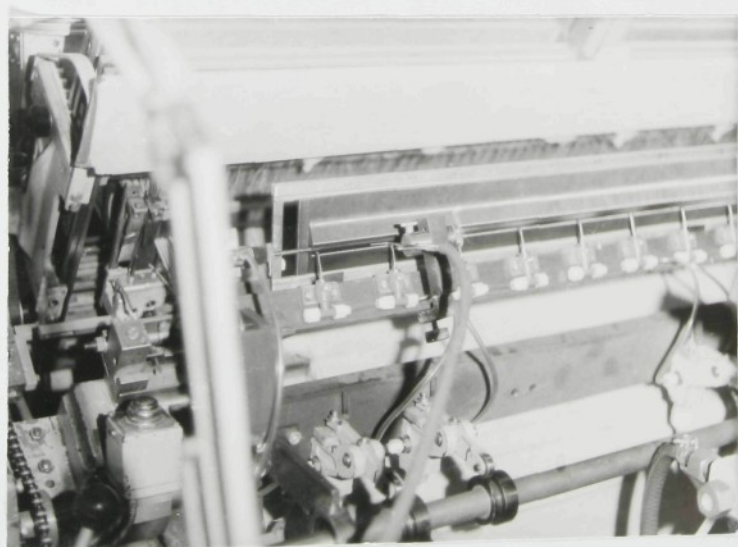
31. Vahhand, A. : Investigations into the behaviour of yarns in pneumatic weft insertion. Melland Textilberichte 1983.

11. SEZNAM PŘÍLOH

- příloha 1 ÷ 2 : Celkový pohled na měřicí systém v laboratoři KTS - VŠST Liberec.
- příloha 3 ÷ 6 : Průběh rychlosti útku při různé výtokové rychlosti V_{t2} .
- příloha 7 ÷ 10 : Vliv délkové hmotnosti útku na jeho rychlost.
- příloha 11 ÷ 14 : Průběh rychlosti útku bez vlivu přifukovacích trysek.
- příloha 15 ÷ 26 : Vliv délky výstupní trubice hlavní trysky na rychlost útku.
- příloha 27 ÷ 34 : Vliv koeficientu odporu C_{t0} na rychlost útku.
- příloha 35 ÷ 42 : Vliv koeficientu odporu C_{t1} na rychlost útku.
- příloha 43 ÷ 50 : Vliv koeficientu odporu C_{t2} na rychlost útku.
- příloha 51 ÷ 52 : Vliv koeficientu odporu C_k na rychlost útku
- příloha 53 : Naměřený průběh útku v prohozním kanálu dle práce (8).
- příloha 54 : Určení rychlosti vzduchu $V_v(x)$ v prohozním kanálu.
- příloha 55 ÷ 56 : Průběh rychlosti vzduchu v prohozním kanálu.



Příloha 1: Celkový pohled na měřicí systém v laboratoři
KTS - VŠST Liberec



Příloha 2: Pitotova trubice pro měření dynamického tlaku

**** RYCHLOST CELA ÚTKU U PROSLUPU ****

110

38.6896 [m/s]

$v_t = 1.1E+02$
 $\times 1 = 2.6E-01$
 $q = 1.8E-04$

0.0000 [s]
 0.4263 [m/s]

0.0517 [s]

Příloha 3 : Průběh rychlosti útku při $V_{t2}=110 \text{ m.s}^{-1}$,
 $q = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU U PROSLUPU ****

110

40.5215 [m/s]

$q = 1.5E-04$
 $\times 1 = 2.6E-01$
 $v_t = 1.1E+02$

0.0000 [s]
 0.5107 [m/s]

0.0487 [s]

Příloha 4 : Průběh rychlosti útku při $V_{t2}=110 \text{ m.s}^{-1}$,
 $q = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

110

46.1397 [m/s]

q = 7.2E-05
vt = 1.1E+02
x1 = 2.6E-01

0.0000 [s]
1.0517 [m/s]

0.0401 [s]

Příloha 5 : Průběh rychlosti útku při $V_{t2}=110 \text{ m.s}^{-1}$,
 $q = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

110

50.3283 [m/s]

q = 1.7E-05
vt = 1.1E+02
x1 = 2.6E-01

0.0000 [s]
4.1600 [m/s]

0.0337 [s]

Příloha 6 : Průběh rychlosti útku při $V_{t2}=110 \text{ m.s}^{-1}$,
 $q = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

36.5973 [m/s]

100

$x1 = 2.3E-01$
 $a = 1.8E-04$
 $vt = 1.0E+02$



Příloha 7 : Průběh rychlosti útku při $V_{t2}=100 \text{ m.s}^{-1}$,
 $q = 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ kg.n}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

38.4270 [m/s]

100

$a = 1.5E-04$
 $vt = 1.0E+02$
 $x1 = 2.3E-01$



Příloha 8 : Průběh rychlosti útku při $V_{t2}=100 \text{ m.s}^{-1}$,
 $q = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ kg.n}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

44.1900 [m/s]

100

$q = 7.2E-05$
 $v_t = 1.0E+02$
 $x_1 = 2.3E-01$

0.0000 [s]
 0.9590 [m/s]

0.0426 [s]

Příloha 9 : Průběh rychlosti útku při $V_{t2}=100 \text{ m.s}^{-1}$,
 $q = 7.2 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

48.6147 [m/s]

100

$q = 1.7E-05$
 $v_t = 1.0E+02$
 $x_1 = 2.3E-01$

0.0000 [s]
 3.7974 [m/s]

0.0354 [s]

Příloha 10 : Průběh rychlosti útku při $V_{t2}=100 \text{ m.s}^{-1}$,
 $q = 1.7 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m}^{-1}$

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

38.1886 [m/s]

x1 = 2.9E-01
Ck = 0.0E+00
Amp 1.0E+00
vk = 0.0E+00

0.0000 [s]

0.9878 [m/s]

0.8464 [s]

Příloha 11 : Průběh rychlosti útku bez vlivu přifukovacích
trysek při $V_{t2}=120 \text{ m.s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

110

35.6384 [m/s]

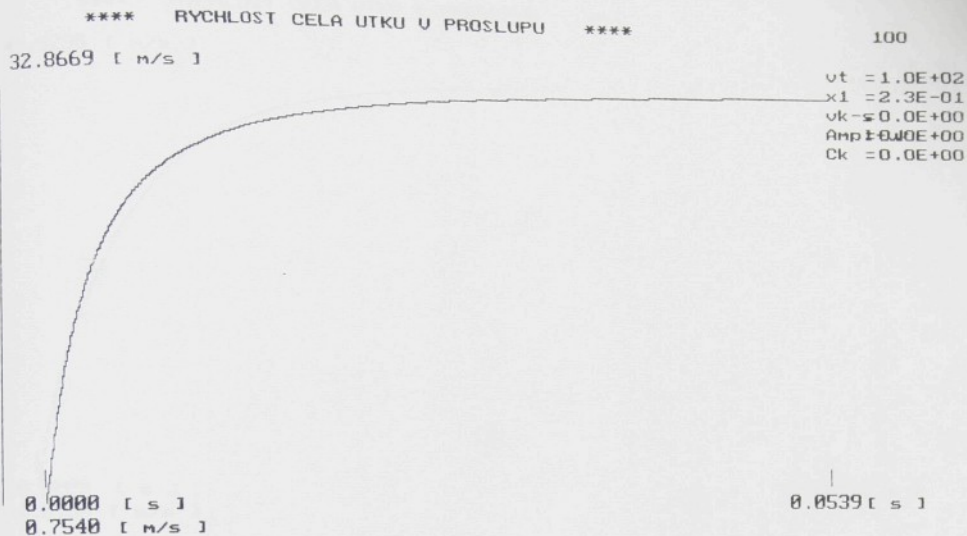
vt = 1.1E+02
x1 = 2.6E-01
vk = 0.0E+00
Amp 1.0E+00
Ck = 0.0E+00

0.0000 [s]

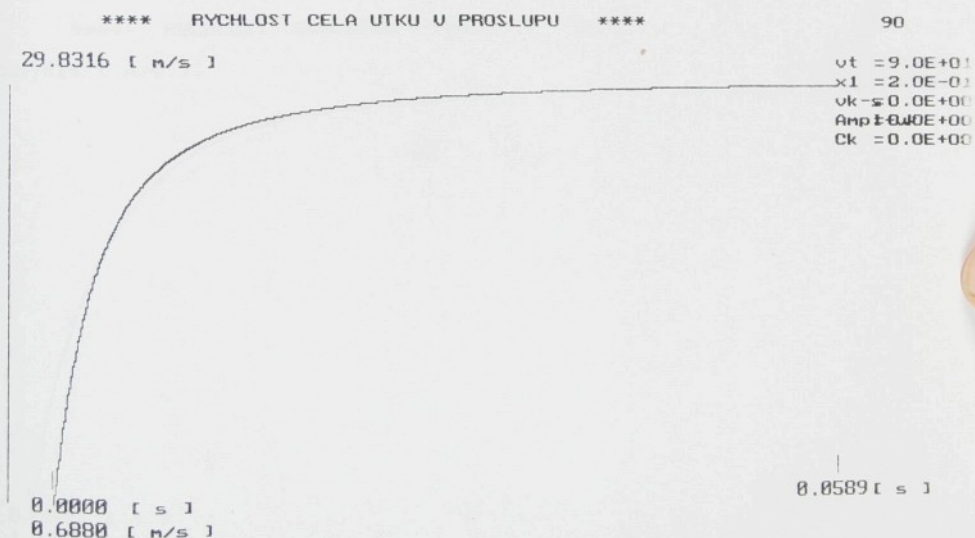
0.8271 [m/s]

0.8498 [s]

Příloha 12 : Průběh rychlosti útku bez vlivu přifukovacích
trysek při $V_{t2}=110 \text{ m.s}^{-1}$.



Příloha 13 : Průběh rychlosti útku bez vlivu přifukovacích
trysek při $V_{t2}=100 \text{ m.s}^{-1}$.



Příloha 14 : Průběh rychlosti útku bez vlivu přifukovacích
trysek při $V_{t2}=90 \text{ m.s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

49.9238 [m/s]

120

$\times 1 = 2.9E-01$
 $1 - t = 2.0E-01$

0.0000 [s]
 1.0956 [m/s]

0.0365 [s]

Příloha 15 : Průběh rychlosti útku při $l_2 = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 a $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

52.7014 [m/s]

120

$\times 1 = 2.9E-01$
 $1 - t = 2.5E-01$

0.0000 [s]
 1.2486 [m/s]

0.0341 [s]

Příloha 16 : Průběh rychlosti útku při $l_2 = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 a $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

55.0252 [m/s]

120

$\times 1 = 2.9E-01$
 $1 - t/t_2 = 2.0E-01$

0.0000 [s]
 1.3611 [m/s]

0.0325 [s]

Příloha 17 : Průběh rychlosti útku při $l_2 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 a $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

47,20 [m/s]

110

$\times 1 = 2.6E-01$
 $1 - t/t_2 = 1.0E-01$

0.0000 [s]
 1.0956 [m/s]

0.0371 [s]

Příloha 18 : Průběh rychlosti útku při $l_2 = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 a $V_{t2} = 110 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

49.6684 [m/s]

110

$x1 = 2.6E-01$
 $vt = 1.1E+02$
 $1-tr = 2.5E-01$

0.0000 [s]
 1.0960 [m/s]

0.0365 [s]

Příloha 19 : Průběh rychlosti útku při $l_2 = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 a $V_{t2} = 110 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

51.7245 [m/s]

110

$x1 = 2.6E-01$
 $vt = 1.1E+02$
 $1-tr = 2.0E-01$

0.0000 [s]
 1.1846 [m/s]

0.0349 [s]

Příloha 20 : Průběh rychlosti útku při $l_2 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 a $V_{t2} = 110 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

48.6122 [m/s]

100

$\times 1 = 2.3E-01$
 $v_t = 1.0E+02$
 $1 - t_r = 2.0E-01$

0.0000 [s]
 1.0233 [m/s]

0.0375 [s]

Příloha 21 : Průběh rychlosti útku při $l_2 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{m}$
 a $V_{t2} = 100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

46.8490 [m/s]

100

$\times 1 = 2.3E-01$
 $v_t = 1.0E+02$
 $1 - t_r = 1.5E-01$

0.0000 [s]
 0.9566 [m/s]

0.0393 [s]

Příloha 22 : Průběh rychlosti útku při $l_2 = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{m}$
 a $V_{t2} = 100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

44.7684 [m/s]

100

$x1 = 2.3E-01$
 $vt = 1.0E+02$
 $1-tr2.0E-01$

0.0000 [s]
 0.8659 [m/s]

0.0417 [s]

Příloha 23 : Průběh rychlosti útku při $l_2 = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 a $V_{t2} = 100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

42.3603 [m/s]

90

$vt = 9.0E+01$
 $x1 = 2.0E-01$
 $1-tr2.0E-01$

0.0000 [s]
 0.7666 [m/s]

0.0450 [s]

Příloha 24 : Průběh rychlosti útku při $l_2 = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 a $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

44.0737 [m/s]

x1 = 2.0E-01
vt = 9.0E+01
1-tr = 1.5E-01

0.0000 [s]
0.8303 [m/s]

0.0425 [s]

Příloha 25 : Průběh rychlosti útku při $l_2 = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
a $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

45.5336 [m/s]

x1 = 2.0E-01
vt = 9.0E+01
1-tr = 1.0E-01

0.0000 [s]
0.8773 [m/s]

0.0407 [s]

Příloha 26 : Průběh rychlosti útku při $l_2 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
a $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

44.8665 [m/s]

$\times 1 = 2.9E-01$
 $C_{t0} = 7.4E-04$

0.0000 [s]
0.9070 [m/s]

0.0420 [s]

Příloha 27 : Průběh rychlosti útku při $C_{t0} = 7.4 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

44.9694 [m/s]

$\times 1 = 2.9E-01$
 $C_{t0} = 5.3E-04$

0.0000 [s]
0.9070 [m/s]

0.0413 [s]

Příloha 28 : Průběh rychlosti útku při $C_{t0} = 5.3 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

45.9373 [m/s]

120

$x1 = 2.9E-01$
 $Ct0 = 3.2E-04$

0.0000 [s]
 0.9070 [m/s]

0.0405 [s]

Příloha 29 : Průběh rychlosti útku při $Ct0 = 3.2 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

47.2429 [m/s]

120

$x1 = 2.9E-01$
 $Ct0 = 5.3E-05$

0.0000 [s]
 0.9070 [m/s]

0.0395 [s]

Příloha 30 : Průběh rychlosti útku při $Ct0 = 5.3 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

38.0880 [m/s]

90

x1 = 2.0E-01
vt = 9.0E+01
Ct0 = 7.4E-04

0.0000 [s]
0.6880 [m/s]

0.0515 [s]

Příloha 31 : Průběh rychlosti útku při $C_{t0} = 7.4 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

38.8696 [m/s]

90

x1 = 2.0E-01
vt = 9.0E+01
Ct0 = 5.3E-04

0.0000 [s]
0.6880 [m/s]

0.0505 [s]

Příloha 32 : Průběh rychlosti útku při $C_{t0} = 5.3 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

39.7197 [m/s]

90

$v_t = 9.0E+01$
 $x_1 = 2.0E-01$
 $C_{t0} = 3.2E-04$

0.0000 [s]
 0.6880 [m/s]

0.0496 [s]

Příloha 33 : Průběh rychlosti útku při $C_{t0} = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

40.7324 [m/s]

$x_1 = 2.0E-01$
 $v_t = 9.0E+01$
 $C_{t0} = 8.3E-05$

0.0000 [s]
 0.6880 [m/s]

0.0484 [s]

Příloha 34 : Průběh rychlosti útku při $C_{t0} = 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

44.6873 [m/s]

x1 = 2.9E-01
Ct0 = 1.1E-04
Ct1 = 1.2E-02

0.0000 [s]
1.2704 [m/s]

0.0405 [s]

Průběh rychlosti útku při $C_{t1} = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

45.3353 [m/s]

x1 = 2.9E-01
Ct1 = 1.0E-02
= 0.0E+00

0.0000 [s]
1.1502 [m/s]

0.0403 [s]

Průběh rychlosti útku při $C_{t1} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

46.0859 [m/s]

120

$x_1 = 2.9E-01$
 $C_{t1} = 8.4E-03$

0.0000 [s]
 1.0291 [m/s]

0.0400 [s]

Průběh rychlosti útku při $C_{t1} = 8.4 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

50.9708 [m/s]

120

$x_1 = 2.9E-01$
 $C_{t1} = 4.4E-04$

0.0000 [s]
 0.5368 [m/s]

0.0388 [s]

Průběh rychlosti útku při $C_{t1} = 4.4 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

39.5951 [m/s]

90

$C_{t1} = 1.2E-02$
 $v_t = 9.0E+01$
 $x_1 = 2.0E-01$

0.0000 [s]
 1.0544 [m/s]

0.0482 [s]

íloha 39 : Průběh rychlosti útku při $C_{t1} = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

39.9117 [m/s]

90

$v_t = 9.0E+01$
 $x_1 = 2.0E-01$
 $C_{t1} = 1.0E-02$

0.0000 [s]
 0.9333 [m/s]

0.0483 [s]

íloha 40 : Průběh rychlosti útku při $C_{t1} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

40.2322 [m/s]

$v_t = 9.0E+01$
 $x_1 = 2.0E-01$
 $C_{t1} = 8.4E-03$

0.0000 [s]
 0.8112 [m/s]

0.0484 [s]

Příloha 41 : Průběh rychlosti útku při $C_{t1} = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

42.1985 [m/s]

$x_1 = 2.0E-01$
 $v_t = 9.0E+01$
 $C_{t1} = 4.4E-04$

0.0000 [s]
 0.3146 [m/s]

0.0498 [s]

Příloha 42 : Průběh rychlosti útku při $C_{t1} = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

50.5675 [m/s]

$\times 1 = 2.9E-01$
 $C_{t2} = 7.9E-04$

0.0000 [s]
1.4160 [m/s]

0.0351 [s]

Příloha 43 : Průběh rychlosti útku při $C_{t2} = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

48.8760 [m/s]

$\times 1 = 2.9E-01$
 $C_{t2} = 5.9E-04$

0.0000 [s]
1.1620 [m/s]

0.0371 [s]

Příloha 44 : Průběh rychlosti útku při $C_{t2} = 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

44.8229 [m/s]

$C_{t2} = 1.9E-04$
 $\times 1 = 2.9E-01$

0.0000 [s]
 0.6508 [m/s]

0.0438 [s]

Říloha 45 : Průběh rychlosti útku při $C_{t2} = 1.9 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

43.8378 [m/s]

$\times 1 = 2.9E-01$
 $C_{t2} = 1.1E-04$

0.0000 [s]
 0.5429 [m/s]

0.0463 [s]

Říloha 46 : Průběh rychlosti útku při $C_{t2} = 1.1 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

42.7825 [m/s]

$v_t = 9.0E+01$

$x_1 = 2.0E-01$

$C_{t2} = 7.9E-04$

0.0000 [s]

0.9749 [m/s]

0.0435 [s]

Průběh rychlosti útku při $C_{t2} = 7.9 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

41.7584 [m/s]

$v_t = 9.0E+01$

$x_1 = 2.0E-01$

$C_{t2} = 5.9E-04$

0.0000 [s]

0.8317 [m/s]

0.0456 [s]

Průběh rychlosti útku při $C_{t2} = 5.9 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

39.3570 [m/s]

$v_t = 9.0E+01$
 $x_1 = 2.0E-01$
 $C_{t2} = 1.9E-04$

0.0000 [s]
 0.5438 [m/s]

0.0528 [s]

Příloha 49 : Průběh rychlosti útku při $C_{t2} = 1.9 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

90

38.7637 [m/s]

$x_1 = 2.0E-01$
 $v_t = 9.0E+01$
 $C_{t2} = 1.1E-04$

0.0000 [s]
 0.4831 [m/s]

0.0558 [s]

Příloha 50 : Průběh rychlosti útku při $C_{t2} = 1.1 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

46.2382 [m/s]

$\times 1 = 2.9E-01$
 $C_k = 1.3E-04$
 $C_k = 1.3E-04$

0.0000 [s]
 0.7851 [m/s]

0.0404 [s]

Příloha 51 : Průběh rychlosti útku při $C_k = 1.3 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

**** RYCHLOST CELA ÚTKU V PROSLUPU ****

120

47.2857 [m/s]

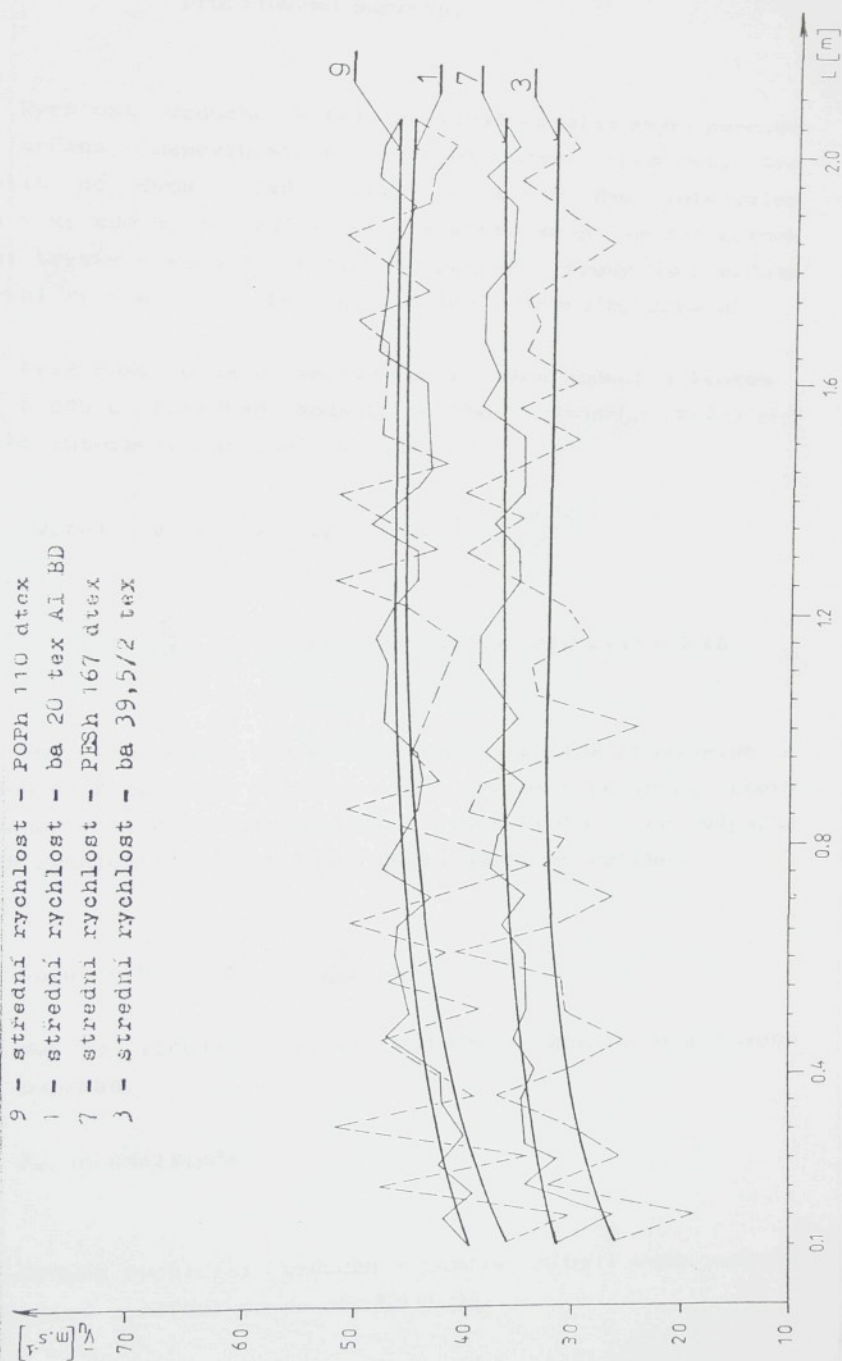
$C_k = 1.5E-0$
 $\times 1 = 2.9E-0$

0.0000 [s]
 0.7851 [m/s]

0.0396 [s]

Příloha 52 : Průběh rychlosti útku při $C_k = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,
 $V_{t2} = 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

- 9 - střední rychlost - POPh 110 dtex
- 1 - střední rychlost - ba 20 tex AI BD
- 7 - střední rychlost - PESH 167 dtex
- 3 - střední rychlost - ba 39,5/2 tex



Příloha 53: Průběh rychlosti útku v kanálu profilového paprsku dle práce 8.

Příloha 54 : Způsob určení rychlosti vzduchu v kanálu profilového paprsku.

Rychlost vzduchu $V_v(x)$ v kanálu profilového paprsku byla určena experimentálně. Průběh této rychlosti lze rozdělit do dvou úseků. První úsek je dán intervalem $0 < x < x_1$ kde x_1 je vzdálenost, na které se projevuje účinek hlavních trysky v kanálu profilového paprsku. Druhý úsek určuje interval $x_1 < x < l_k$, kde l_k je délka prohozního kanálu.

Prvá část je dána tabulkou naměřených hodnot s krokem $\Delta x = 0,005$ m. Potřebné hodnoty rychlosti vzduchu $V_v(x)$ pro výpočet interpolujeme podle vztahu:

$$V_v(x) = V_{vi} + (V_{v(i+1)} - V_{vi}) \frac{x - i\Delta x}{\Delta x}$$

kde: $i = \frac{x}{\Delta x}$ - je zaokrouhleno na celé číslo dolů.

Ve druhé části rychlost vzduchu kolísá pravidelně s ohledem na rozmístění přifukovacích trysek s periodou, která je dána roztečí přifukovacích trysek. Proto je ve výpočtu průběh rychlosti $V_v(x)$ v tomto úseku nahrazen vztahem:

$$V_v(x) = V_{vs} + A_k \cos \frac{\pi}{0,04} x$$

kde: V_{vs} je střední rychlost vzduchu v kanálu profilového paprsku,

A_k je amplituda.

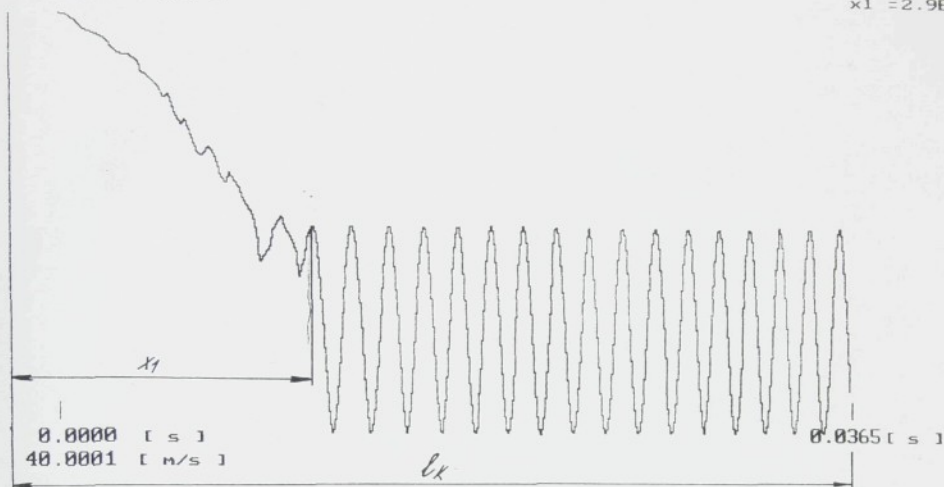
Průběh rychlosti vzduchu v kanálu profilového paprsku vycházející z měření je na obr 55 ÷ 56.

**** PRUBEH RYCHLOSTI UZDUCHU V KANALU ****

1

119.9872 [m/s]

x1 = 2.9E-01



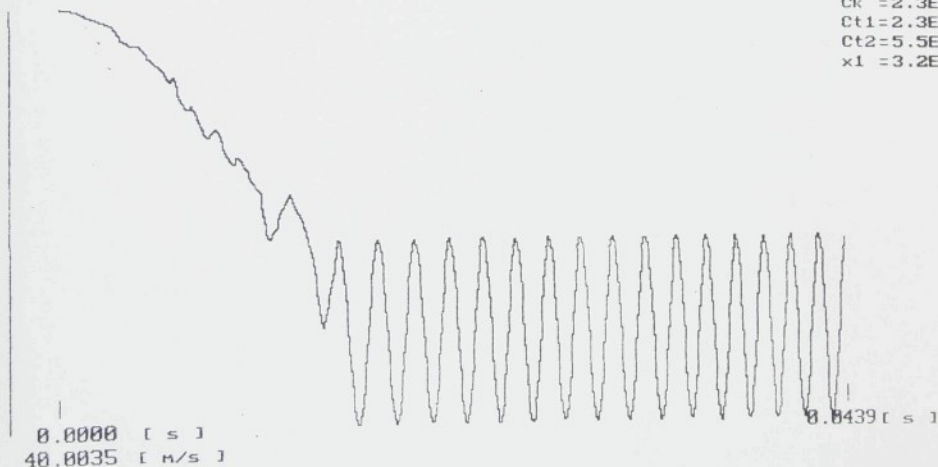
Příloha 55: Průběh rychlosti vzduchu v kanálu profilového paprsku vycházející z měření při $V_{t2}=120 \text{ m.s}^{-1}$.

**** PRUBEH RYCHLOSTI UZDUCHU V KANALU ****

1

129.9956 [m/s]

q = 1.7E-05
Ck = 2.3E-06
Ct1 = 2.3E-04
Ct2 = 5.5E-05
x1 = 3.2E-01



Příloha 56: Průběh rychlosti vzduchu v kanálu profilového paprsku vycházející z měření při $V_{t2}=130 \text{ m.s}^{-1}$.