

VYSOKÁ ŠKOLA
STROJNÍ A TEXTILNÍ

V

Liberce

fakulta textilní
obor 31 - 12 - 8

Technologie textilu a oděvnictví

zaměření:
Textilní materiály a předení

katedra přádelnictví

Analýza vybraných procesů předení s využitím výpočetní
techniky

Vedoucí práce : Doc. Ing. Petr Ursíny DrSc.

Konzultant : Ing. Jindra Porkertová

Počet stran: 56
Počet tabulek: 3
Počet obrázků: 25
Počet příloh: 16

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146075804

Fakulta textilní

Katedra přádelnictví

Školní rok: 1991/92

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro

Petra Nováka

obor 31 - 12 - 8 technologie textilu a oděvnictví

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Analýzy vybraných procesů předení s využitím výpočetní techniky

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vybrané publikované poznatky o problematice modelování spřádacích procesů a systémů z hlediska transformace hmotné nestejnoměrnosti.
2. U vybraných procesů a systémů proveďte posouzení dosažených výsledků z hlediska praktického významu pro výzkumné účely.
3. Na základě závěrů bodu ad 2. navrhnete a proveďte výpočetní postupy vedoucí k optimálnímu využití výsledků modelování vybraných spřádacích procesů a systémů ve sféře technologického výzkumu.
4. Zhodnoťte význam dosažených výsledků pro výzkumnou praxi a posuďte další možnosti v této odborné oblasti.

O B S A H

OBSAH	5
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	7
1 ÚVOD	9
1.1 Modelování sprádacích procesů a vláknenných útvary	9
2 TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1 Simulace a identifikace	11
2.2 Dynamický systém	11
2.2.1 Popis lineárních systémů	12
2.2.2 Charakteristiky dynamických systémů	13
2.2.3 Bloková algebra	15
2.3 Sprádací systém jako dynamický systém	16
3 Analýza vybraných procesů předení	17
3.1 Modelování systému přechodu vláken ve vyče-.... sávací zóně	20
3.1.1 Systém průtahu ve vyčesávací zóně	21
3.1.1.1 Zhodnocení	28
3.1.2 Systém transportu vláknenných proudů	29
3.1.2.1 Zhodnocení	34
3.2 Modelování systému kombinovaného družení u rotorového doprřadacího stroje	35
3.2.1 Systém cyklického družení	36
3.2.1.1 Zhodnocení	40
3.2.2 Systém postupného družení	40
3.2.2.1 Zhodnocení	43
3.3 Modelování rotorového doprřadacího systému 3.3.1 Zhodnocení	43 46
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	48
4.1 Teoretický úvod	48
4.2 Experiment	49
4.3 Zhodnocení	50
5 ZÁVĚR	53
6 DISKUSE	54

DISKUSE	53
---------------	----

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
---------------------------------	----

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$F(p)$	 přenos
$Y(p)$	 obraz výstupní funkce
$U(p)$	 obraz vstupní funkce
$y(t)$	 výstupní funkce
$u(t)$	 vstupní funkce
$h(t)$	 časová funkce tloušťky vlákna
L	 lineární operátor
$\mathcal{L}$	 symbol Laplaceovy transformace
$\mathcal{L}^{-1}$	 symbol zpětné Laplaceovy transformace
z	 komplexní číslo
$ z $	 modul komplexního čísla
φ	 fáze komplexního čísla
$\text{Re}\{z\}$	 reálná část komplexního čísla
$\text{Im}\{z\}$	 imaginární část komplexního čísla
$F(i\omega)$	... frekvenční přenos
$ F(i\omega) $	... modul přenosové funkce systému závislosti na ω
$ F(\lambda) $	... modul přenosové funkce systému závislosti na λ
$m_{\gamma}(x)$	 střední hodnota náhodné funkce v závislosti na x
m_{γ}	 střední hodnota stacionární náhodné funkce
$\sigma_{\gamma}^2(x)$	 rozptyl náhodné funkce
σ_{γ}^2	 rozptyl stacionární náhodné funkce
$K_{\gamma}(\delta)$	 korelační funkce stacionární náhodné funkce
$\beta_{\gamma}(\delta)$	 normovaná korelační funkce
$A_1(\omega)$	... amplituda vstupních kmitů o frekvenci ω
$A_1(\lambda)$	... amplituda vstupních kmitů o vlnové délce λ
$A_2(\omega)$	... amplituda výstupních kmitů o frekvenci ω
$A_2(\lambda)$	... amplituda výstupních kmitů o frekvenci λ
CV_{linv}	 limitní kvadratická nestejnomyěrnost
CV_{ef}	 efektivní kvadratická nestejnomyěrnost
b_{γ}	 koeficienty rozdělení pravděpodobnosti
q_{γ}	 koeficienty rozdělení pravděpodobnosti
p_{γ}	 koeficienty rozdělení pravděpodobnosti
T_0	 jemnost pramene
T_4	 jemnost příze
r_3	 poloměr sběrného povrchu
a_m	 koeficient zákrutu
l	 délka vláken

u obvod sběrného povrchu

P_{01} průtah ve vyčesávací zóně

P_{13} průtah mezi vyčesávací zónou a vzduchovým kanálem

V technických oborech se začínají stále více pro popis procesů používat náročnější matematické teorie, přičemž hlavními pomocníky jsou počítače. Souvisí to s rozvojem a využitím numerických metod u jinak velmi těžko analyticky řešitelných úloh, pracností výpočtu a pak také velkou názorností grafického výstupu ve formě grafů, tabulek, animace apod.

V době velkých sálových počítačů to bylo výsadou jen mála technických oborů, zejména strojírenství. Nyní s rozvojem výpočetní techniky a zejména její cenovou dostupností (třída osobních počítačů) se nevidanou měrou začíná počítačů využívat k modelování a řízení procesů, konstrukci a návrhu i v jiných oborech.

1.1 Modelování sprádacích procesů a vláknenných útvarů

Jednou z nejdůležitějších užitných vlastností příze, která souvisí s technologickými podmínky výroby, je hmotná nestejnoměrnost.

Problematika hmotné nestejnoměrnosti je sledována nejen v rámci provozu přádelny, ale i ve výzkumné praxi v souvislosti s hodnocením vlivu jednotlivých ústrojí a celkového systému na tuto vlastnost. Uvedená vlastnost je důležitá z hlediska stability technologického procesu související s užitnými vlastnostmi přízí ale, i z hlediska vzhledu a konečných vlastností textilního výrobku.

S rozvojem nových technologií, přechodem na vyšší odtahové rychlosti (zvýšení produkce) a zajištěním odpovídající kvality, byla snaha teoreticky popsat chování sprádacích procesů a vláknenných útvarů a to pomocí :

- pravděpodobnostních modelů sprádacích procesů
- statistických modelů délkových útvarů
- fyzikálních modelů vlastností vláknenných útvarů

za účelem odhalení obecných zákonitostí působení systému na

transformaci hmotné nestejnoměrnosti a vlastností vláknenných útvarů. Na základě odvozených vztahů pro přenosové funkce a moduly, byl u vybraných sprádacích procesů sledován vliv jednotlivých parametrů ovlivňující průběh teoretického modulu a ze zjištěných výsledků byly navrženy zásahy do dané technologie, nebo konstrukční úpravy zařízení.

V 1.části své diplomové práce jsem se zaměřil na shrnutí a analýzu dílčích systémů rotorového systému :

- a) podávání a ojednocování (systém přechodu vláken ve vyčesávací zóně)
 - systém ideálního průtahu (aproximující průtah ve vyčesávací zóně)
 - systém transportu vláknenných proudů z podávacího ústrojí na vyčesávací válec
- b) kombinovaného družení
 - systém cyklického družení
 - systém postupného družení

a dále rotorovým dopřádací systémem jako celek.

- c) rotorový dopřádací systém

Podrobněji byly analyzovány nově odvozené přenosy pro systém transportu vláknenných proudů a postupného družení z hlediska rozdělení pravděpodobnosti přechodu z neabsorpčního stavu do absorpčního. Modelově byly simulovány různé varianty rozdělení a bylo sledováno jak ovlivňují průběh modulu.

A ve 2.části na experiment zkoumající vliv konstrukčně technologických parametrů na průběh experimentálního modulu rotorového systému získaného srovnáním spektrogramů vyprádané příze a předkládaného pramene (podíl amplitud sobě si odpovídajících vlnových délek) a jeho srovnáním s teoretickými průběhy.

A odtud byly navrženy technologická opatření vedoucí k optimalizaci tohoto systému, z hlediska působení na hmotnou nestejnoměrnost.

2.1 Simulace (modelování) a identifikace

Simulací je možno simulovat chování soustav a celých zařízení na základě fyzikálních či jen matematických modelů a řešit potřebné problémy mimo vlastní zařízení. Je možno vyzkoušet všechny varianty provozu bez nákladného experimentování a vybrat z hlediska technického či ekonomického nejvhodnější variantu řešení. Výsledkem simulace jsou pak obvykle statické a dynamické charakteristiky dynamických systémů.

Předběžné určení chování modelů nebývá obvykle pro účely optimalizace dostatečně přesné a proto je nutné zjistit vlastnosti soustavy přesněji identifikací.

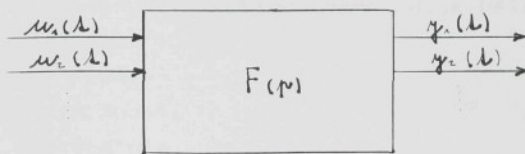
2.2 Dynamický systém

Dynamický systém, jak je znázorněn na obr. č.1 se skládá z množiny vstupních veličin u a množiny výstupních veličin y , které jsou spojeny transformačním vztahem [1]:

$$F(p) = \frac{Y(p)}{U(p)}$$

charakterizovaný svou strukturou a vztahem k okolí.

obr. č.1



Dynamické systémy dělíme na

- lineární - z matematického hlediska jsou to takové systémy jejichž výsledkem, je transformace vstup-

ní veličiny $u(t)$ ve výstupní veličinu $y(t)$ vyjádřitelnou vztahem.

$$y(t) = L\{u(t)\}$$

L ...lineární operátor

Parametry lineárního systému nejsou závislé na pochodu, které probíhají.

- nelineární - to jsou takové, které nesplňují uvedené podmínky pro lineární soustavy. Řešení vede na nelineární diferenciální rovnice popř. soustavy, obtížně řešitelné.

Skutečností je, že v technické praxi se lineární systémy poměrně často vyskytují a ještě častěji se vyskytují systémy, které ve známých mezích připouštějí linearizaci. Podle práce [2] prakticky libovolný systém může uvažovat lineární, pokud náhodné odchylky na vstupu systému jsou dostatečně malé.

2.2.1 Popis dynamických systémů

Popis dynamických systémů se provádí pomocí.

- a) analytickým odvozením - ze závislosti fyzikálních vlastností popisovaného děje. Děláme makroskopické bilance:
 - hmoty
 - hybnosti
 - energievedoucí k diferenciálním rovnicím (popř. soustavám).

- b) identifikací - to je měřením na reálném dynamickém systému nebo technologii a jeho následným matematickým zpracováním. Například metoda "černé skřínky".

2.2.2 Charakteristiky dynamických systémů

Nejdříve bych chtěl uvést základní matematický aparát, který se při popisu dynamických charakteristik používá. Popis dynamických systémů vede na řešení diferenciálních rovnic, které se obvykle řeší pomocí Laplaceovy transformace. Úloha se převede z originálu Laplaceovou transformací, řešení se provede v obraze a výsledky se zpětnou transformací převedou do originálu. Přímá Laplaceova transformace je definována [3]:

$$\mathcal{L}\{y(t)\} = Y(p) = \int_0^{\infty} y(t) e^{-pt} dt$$

a zpětná transformace.

$$\mathcal{L}^{-1}\{Y(p)\} = y(t) = \frac{1}{2\pi i} \oint_C Y(p) e^{pt} dp = \frac{1}{2\pi i} \int_{\omega - i\infty}^{\omega + i\infty} Y(p) e^{pt} dp$$

Pro znázornění komplexních čísel (funkčních hodnot funkce komplexní proměnné) se používá Gaussova rovina viz obr. č.2.

$$\operatorname{Re}\{z\} = a$$

$$|z| = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \dots \text{modul}$$

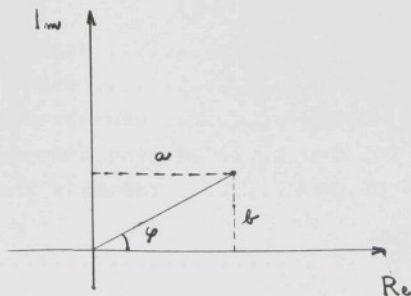
$$\operatorname{Im}\{z\} = b$$

$$\varphi = \arctg \frac{b}{a} \quad \dots \text{fáze}$$

$$z = a + i b =$$

$$= |z| (\cos \varphi + i \sin \varphi) = |z| e^{i\varphi}$$

obr. č.2



Nejdůležitější dynamickou charakteristikou dynamického systému je [1]:

- a) obrazový přenos – je definován poměrem Laplaceových obrazů výstupního signálu $\{y(t)\}$ ku obrazu vstupního signálu $\{u(t)\}$.

$$F(p) = \frac{\mathcal{L}\{y(t)\}}{\mathcal{L}\{u(t)\}} = \frac{Y(p)}{U(p)}$$

Dosazením za $p=i\omega$ dostaneme:

- b) frekvenční přenos

$$F(i\omega) = |F(i\omega)| e^{i\varphi(\omega)} = |F(i\omega)| (\cos \varphi(\omega) + i \sin \varphi(\omega))$$

$$\operatorname{Re}(F(i\omega)) = |F(i\omega)| \cos \varphi(\omega)$$

$$\operatorname{Im}(F(i\omega)) = |F(i\omega)| \sin \varphi(\omega)$$

Na obr.č.3 je znázorněn frekvenční přenos v Gaussově rovině pro systém cyklického druzení. Vztahy pro modul a fázi jsou převzaty z práce [4].

$$|F(i\omega)| = \frac{\sin \frac{N\omega\tau}{2}}{\sin \frac{\omega\tau}{2}}$$

$$\varphi(\omega) = \frac{N-1}{2} \omega\tau$$

Dáno:

celkový průtah $F_g = 140$

jemnost příze $T_k = 25 \text{ tex}$

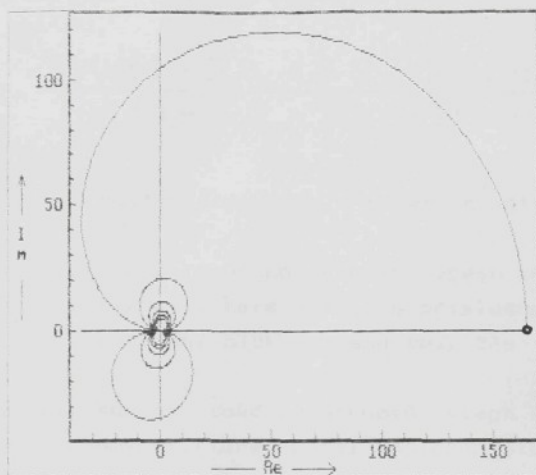
koeficient zákrutu $a_m = 80$

obvod sběrného povrchu $u = 0.207 \text{ m}$ ($r_s = 0.033 \text{ m}$)

koeficient zkrácení $\tau = 0.95$

zákrut $Z = \frac{100 a_m}{\sqrt{T_k}}$

míra cyklického druzení.... $N = u Z \tau$



Dalšími důležitými charakteristikami jsou odezvy systémů na specifické budicí funkce $u(t)$.

c) přechodová funkce – odezva systému na jednotkový skok
(předpokládáme nulové počáteční podmínky)

d) váhová funkce – odezva systému na jednotkový impuls
(předpokládáme nulové počáteční podmínky)

2.2.3 Bloková algebra

Pro přehledné znázornění funkce a struktury soustavy použijeme blokových schémat. Blokové schémata se skládají ze základních prvků:

- signálový kanál
- sčítací (odečítací) člen

- blok s přenosem

U soustav, které se skládají z více dílčích přenosů a jsou mezi sebou spojeny signálovými kanály, se výsledný přenos vy-
počítá pomocí Masonova vzorce [1] :

$$F = \frac{\sum_k V_k (1 - \sum S_k + \sum S_k - \sum S_k \dots)}{(1 - \sum S + \sum S - \sum S \dots)}$$

V_k součin přenosů v K-té přímé větvi

$\sum S_k$ součet součinů přenosů všech k-tic zpětnovazebních
smyček , které nemají s příslušnou K-tou přímou větví
společný blok ani součtový člen

$\sum S$ součet součinů přenosů všech k-tic zpětnovazebních
smyček, které nemají společný blok ani součtový člen

Pro sériové řazení přenosy pak pro výsledný přenos platí:

$$F_c = \prod_{i=1}^n F_i$$

a pro paralelní řazení

$$F_c = \sum_{i=1}^n F_i$$

2.3 Serádací proces jako dynamický systém

Hovoříme o lineárním stacionárním dynamickém systému. Sta-
cionárním protože, vstupní a výstupní ^{funkce} jsou náhodné stacionární
funkce . To jsou takové , které splňují následující podmínky
[2].

a) podmínka konstantní střední hodnoty

$$m_Y(x) = m_Y = \text{konst.}$$

b) podmínka konstantního rozptylu

$$\sigma_Y^2(x) = \sigma_Y^2 = \text{konst.}$$

c) podmínka argumentu korelační funkce

$$K(x, x+\delta) = K(\delta)$$

Korelační funkce stacionárního náhodného procesu ,není funkcí dvou , nýbrž jednoho argumentu.V praxi se zpravidla používá normovaná korelační funkce.

$$\rho_r(\tau) = \frac{K_r(\tau)}{\sigma_y^2}$$

Důležitou podmínkou pro průběh jemnosti přádelnického produktu je ergodická vlastnost stacionárních náhodných funkcí.Náhodná funkce má ergodickou vlastnost ,pokud průměrná hodnota jedné realizace náhodné funkce na dostatečně velkém intervalu pozorování se rovná průměru vyplývajícimu z určitého množství pozorování na kratším intervalu.

3 Analýza vybraných procesů předení

V této části bych se chtěl zabývat analýzou vybraných přádelnických procesů, chápaných jako dynamické systémy ,a to některými dílčími procesy rotorového systému a dále rotorovým systémem jako celek.

a) systémem přechodu vláken ve vyčesávací zóně

b) systémem kombinovaného druzení

K úplnému výčtu všech dílčích procesů rotorového systému ,zde chybí [5],

- systém snímání a dopravy vláken vzduchovým kanálem
- systém tvorby příze

které však dosud nebyly dostatečně spolehlivě matematicky popsány.

c) rotorovým dopřádací systémem

Předpokládejme dané procesy, jako stacionární lineární dynamické systémy.Uvažujeme tedy náhodné funkce na vstupu a výs-

tupu jako stacionární. Pro zhodnocení uvedených systémů byly použity známé vztahy pro přenosové funkce systému ideálního průtahu (ad a) a cyklického druzení (ad b) a navíc zde byl použit nový pravděpodobnostní přístup, na základě markovských absorpčních řetězců, to je rozdělení vláknenného toku na dílčí vláknenné proudy a jejich následné druzení.

V teorii předení však mají největší význam moduly přenosových funkcí, které však mají poněkud jinou interpretaci než v klasické kybernetice, i když jsou rovnocenné. Převádí se ze závislosti na úhlové frekvenci na vlnovou délku. To je podíl amplitud výstupních a vstupních kmitů o frekvenci, nebo odpovídající vlnové délce.

$$|F(\omega)| = \frac{A_2(\omega)}{A_1(\omega)} \quad \text{popř.} \quad |F(\lambda)| = \frac{A_2(\lambda)}{A_1(\lambda)}$$

Jestliže je modul přenosu $|F(\lambda)|$ 1) dochází k prohlubování hmotné nestejnomyernosti a naopak.

V práci [6] byl navržen postup určování skutečných poměrů amplitud harmonických složek hmotné nestejnomyernosti výsledného a předkládaného produktu, který vychází z přibližných vztahů vyjadřující funkční závislost mezi součtem čtverců amplitud a hodnotou kvadratické nestejnomyernosti CV [%]. Pro reálná spektra (bez periodických chyb a kupovitých spekter) přibližně platí:

$$CV^2 = k \sum_{i=1}^{n_k} A_i^2$$

A_i ... poměrná amplituda harmonické složky hmotné nestejnomyernosti reálného vláknenného produktu o vlnové délce odpovídající i-tému kanálu

k ... konstanta uměrnosti

CV ... efektivní kvadratická nestejnomyernost

n_k ... počet kanálů spektrogramu

V pracích [7] byl publikován vztah pro vyjádření amplitudy

ideálního spektra v %. Obdobně můžeme napsat pro reálný produkt:

$$A_{\lambda}(\lambda) = \frac{CV_{\lambda} \sin \frac{\pi l}{\lambda}}{\pi \sqrt{\frac{l}{\lambda}}}$$

Dosazením do výše uvedeného vztahu dostaneme :

$$CV_{\lambda} = K \int_{\lambda_0}^{\lambda_H} \left(\frac{CV_{\lambda} \sin \frac{\pi l}{\lambda}}{\pi \sqrt{\frac{l}{\lambda}}} \right)^2 d \log \lambda$$

A můžeme vyjádřit konstantu K.

$$K = \frac{1}{\int_{\lambda_0}^{\lambda_H} \left(\frac{\sin \frac{\pi l}{\lambda}}{\pi \sqrt{\frac{l}{\lambda}}} \right)^2 d \log \lambda}$$

Integrační meze závisí na zvoleném měřicím rozsahu USTERU.

Potom hodnotícím kritériem, podobným indexu nestejnomyšlosti by mohlo být "zesílení", zavedené takto :

$$Z = \frac{CV_{\lambda_2}}{CV_{\lambda_1}} \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} = \sqrt{\frac{\sum A_{\lambda_2}^2}{\sum A_{\lambda_1}^2}}$$

a následně integrační forma.

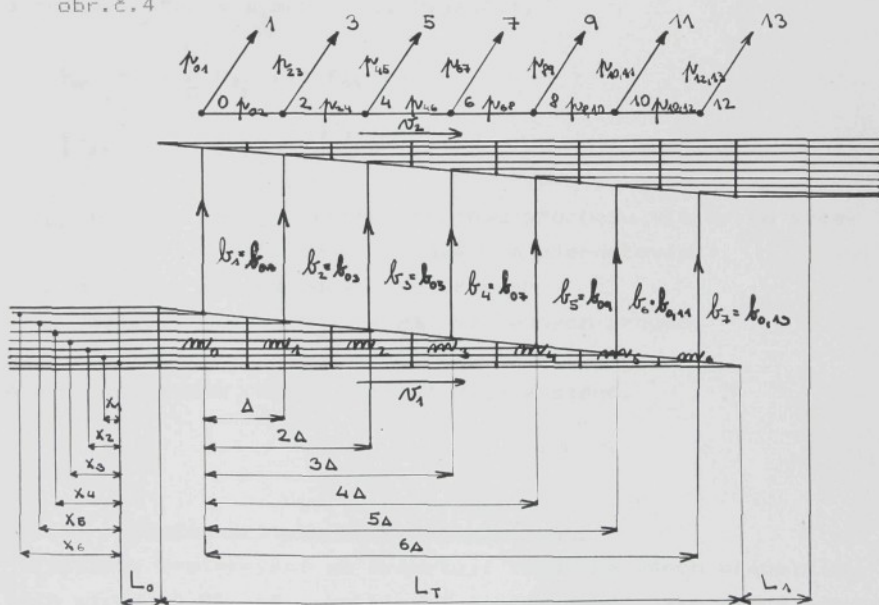
$$Z = \sqrt{\frac{\int_{\lambda_0}^{\lambda_H} A_{\lambda_2}^2 d \log \lambda}{\int_{\lambda_0}^{\lambda_H} A_{\lambda_1}^2 d \log \lambda}} = \sqrt{\frac{\int_{\lambda_0}^{\lambda_H} (|F(\lambda)| A_{\lambda_1})^2 d \log \lambda}{\int_{\lambda_0}^{\lambda_H} A_{\lambda_1}^2 d \log \lambda}}$$

Kdybychom pro daný systém měnili parametry ovlivňující průběh modulu, dostali bychom, jak který faktor (na základě zesílení) ovlivňuje proces a podle toho upravili proces tak, aby ovlivňoval hmotnou nestejnomyšlost co nejméně.

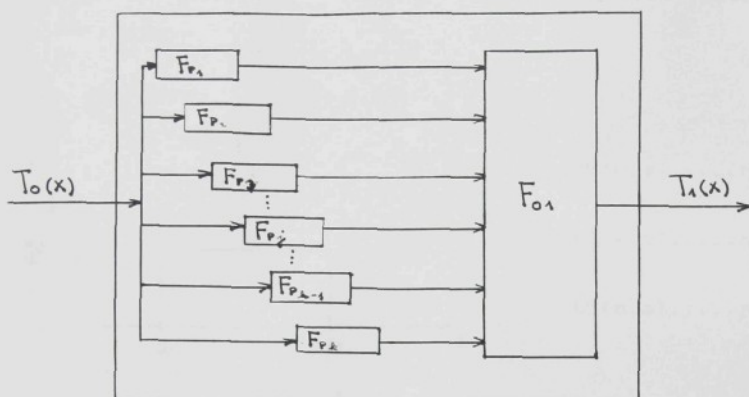
3.1 Modelování systému přechodu vláken ve vyčesávací zóně rotorového dořádacího stroje

Základní přístup pro odvození přenosových funkcí byl podle [8] takovýto. Podávací ústrojí podává vláknenný materiál do vyčesávací zóny. Vlivem velmi vysokého průtahu P_{01} dochází k uvolňování (vyčesávání) vláken potahem vyčesávacího válce. Vláknem přestupuje na rychlost vyčesávacího válce v určitém intervalu, daným délkou tržně L_T . Rozdělením tohoto intervalu na k dílčích podintervalů, přičemž ke každému přechodu z neabsorpčního do absorpčního stavu (v daném podintervalu) přísluší určitá pravděpodobnost, dostaneme k dílčích vláknenných proudů (velikost je úměrná pravděpodobnosti přechodu), potom i -tý vláknenný proud protažený průtahem P_{01} přechází ve středu i -tého podintervalu na vyčesávací válec a tam se jednotlivé dílčí proudy vzájemně posunuté druží. Schematicky znázorněno na obr.č.4.

obr.č.4



Podle pravidel blokové algebry, lze systém přechodu vláken ve vyčesávací zóně BD stroje znázornit blokovým schématem viz obr.č.5.



a celkový přenos a modul lze vyjádřit.

$$F_{PO}(p) = \left(\sum_{i=1}^k F_{P_i}(p) \right) F_{O1}(p)$$

$$|F_{PO}(\lambda)| = |F_P(\lambda)| \cdot |F_{O1}(\lambda)|$$

$F_{PO}(p)$ celkový přenos systému přechodu vláken ve vyčesávací zóně (podávání a ojednocování)

$F_P(p)$ přenos ideálního průtahu

$F_{O1}(p)$ přenos transportu vláknenných proudů

A nyní provedeme rozbor jednotlivých systémů.

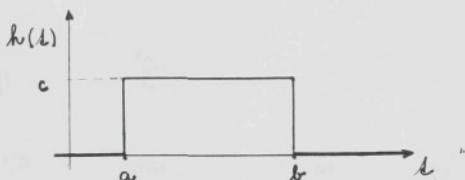
3.1.1 Systém průtahu ve vyčesávací zóně

Systémy protahování se vyskytují téměř na všech přádelnických strojích. Ať už jako hlavní proces, nebo jako dílčí proces. Proto byla tomuto systému věnována velká pozornost. Za určitých předpokladů, byly v pracích [6] odvozeny vztahy pro přenosovou funkci průtažného ústrojí.

Předpokládáme průchod napřimeného vlákna jednotné délky, kolem obecných bodů x_1 a x_2 rychlostního pole průtažného

systému. Stanovíme časovou funkci tloušťky vlákna (resp. vlákeného produktu) po délce. Předpokládejme konstantní tloušťku, to je nemající vlastní nestejnoměrnost zavedené podle obr.č.6.

obr.č.6



$$t \in (0, a) \dots h(t) = 0$$

$$t \in (a, b) \dots h(t) = c$$

$$t \in (b, \infty) \dots h(t) = 0$$

Provedením Laplaceovy transformace časové funkce získáme obraz časové funkce.

$$\mathcal{L}\{h(t)\} = \int_0^{\infty} h(t) e^{-pt} dt = c \int_a^b e^{-pt} dt = \frac{c}{p} [e^{-pa} - e^{-pb}]$$

v_x ... rychlost vlákna v poloze x (poloha je charakteristickým bodem např. předním koncem)

$$a = \int_0^x \frac{dx}{v_x}$$

$$b = \int_0^{x+l} \frac{dx}{v_x}$$

A odtud pro přenosovou funkci $F_p(p)$ průtažného systému mezi obecnými body x_1 a x_2 můžeme odvodit vztah:

$$F_p(p)_{x_1, x_2} = \frac{e^{-p \int_0^{x_2} \frac{dx}{v_x}} - e^{-p \int_0^{x_2+l} \frac{dx}{v_x}}}{e^{-p \int_0^{x_1} \frac{dx}{v_x}} - e^{-p \int_0^{x_1+l} \frac{dx}{v_x}}}$$

Pro $x_1=0$, $x_2=L$ (L ... délka průtažného pole) po úpravě dostaneme:

$$F_p(p) = \frac{-\pi \int_0^L \frac{dx}{v_s}}{1 - e^{-\pi \int_0^L \frac{dx}{v_s}}} \cdot \frac{1 - e^{-\pi \int_0^{L+L} \frac{dx}{v_s}}}{1 - e^{-\pi \int_0^L \frac{dx}{v_s}}}$$

Člen $e^{-\pi \int_0^L \frac{dx}{v_s}}$ představuje dopravní zpoždění mezi vstupem a výstupem

$$\int_0^L \frac{dx}{v_s} \quad \dots \dots \text{časová konstanta}$$

Z výsledného vztahu pro přenos průtažného ústrojí dosazením za $p=i\omega$ dostaneme frekvenční přenos ($\omega \dots$ úhlová frekvence harmonického kmitání). V textilních aplikacích přenosových funkcí se nejčastěji vyhodnocuje modul přenosové funkce (resp. modul poměrné přenosové funkce). K odvození modulu byl použit čtverec modulu $|F_p(i\omega)|^2$.

$$|F(i\omega)|^2 = F(i\omega) F(-i\omega) = \frac{1 - \cos \omega \int_0^{L+L} \frac{dx}{v_s}}{1 - \cos \omega \int_0^L \frac{dx}{v_s}}$$

$$|F(i\omega)| = \left| \frac{\sin \omega \int_0^{L+L} \frac{dx}{v_s}}{\sin \omega \int_0^L \frac{dx}{v_s}} \right|$$

Pro vlastní posouzení přádelnických systémů je výhodnější modul poměrné přenosové funkce v závislosti na vlnové délce λ (úhlovou frekvenci nahradíme vlnovou délkou).

$$\omega = \frac{2\pi}{\lambda} v_s = \frac{2\pi P}{\lambda} v_s$$

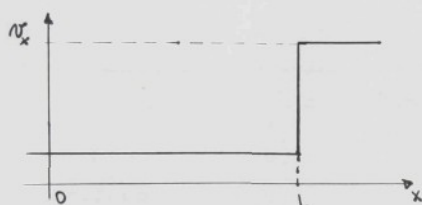
To je poměr amplitud vztahených na příslušnou střední hodnotu jemnosti na výstupu a vstupu [2].

$$|F_p(\lambda)| = P |F_p(\lambda)|$$

$$|F_p(\lambda)|^* = \left| \frac{P \sin \frac{\pi n_2 \int_0^L \frac{dx}{n_2}}{\lambda}}{\sin \frac{\pi n_2 \int_0^L \frac{dx}{n_2}}{\lambda}} \right|$$

Integrály, které jsou v argumentech funkcí sinus v čitateli a ve jmenovateli jsou časové konstanty závislé na profilu rychlostního pole vláken v průtažném poli. V pracích [6] bylo uvažováno rychlostní pole vyobrazené na obr.č.7.

obr.č.7



$$x \in (-\infty, 0) \dots v_x = v_1$$

$$x \in (0, L) \dots v_x = v_2$$

$$x \in (L, \infty) \dots v_x = v_1$$

$$|F_p(\lambda)|^* = \left| P \frac{\sin \frac{\pi l}{\lambda}}{\sin \frac{\pi l P}{\lambda}} \right|$$

$$\lambda \neq 0$$

$$\lambda \neq \frac{lP}{k}$$

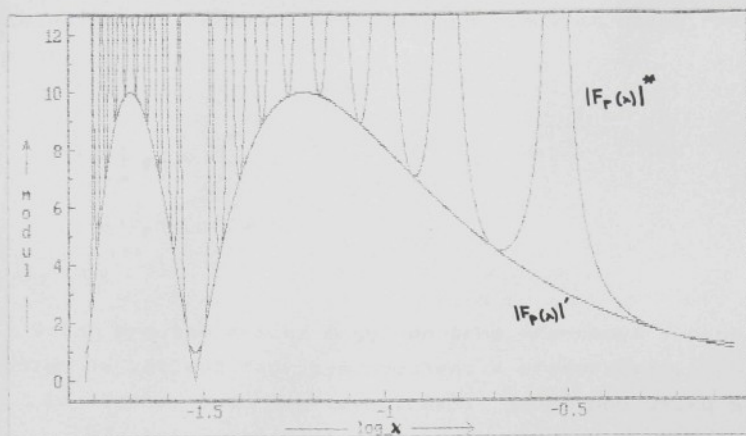
Na obr.č.8a je teoretický průběh modulu poměrné přenosové funkce a průběh obalové křivky. Z důvodu lepší zobrazitelnosti je zobrazen pro průtah $P=10$. A na obr.č.8b jsou průběhy obalových křivek pro dvě hodnoty průtahu $P=20$ a $P=40$.

Nutno však podotknout, že v ojednocovacím ústrojí rotorového doprřadacího stroje dochází až k tisícínásobným průtahům.

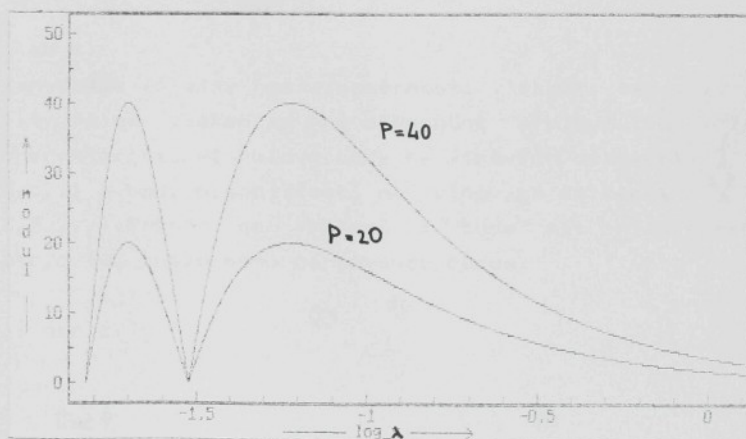
Dáno:

délka vláken ... $l=0,03$ m

obr. č. 8a



obr. č. 8b



Teoretický průběh se vyznačuje nespojitostmi a nulovými body. Ve skutečnosti u reálného procesu by průběh modulu měl odpovídat pravděpodobně obalové křivce. Za funkci obalové křivky můžeme na určitém intervalu uvažovat :

$$|F_P(\lambda)|' = \left| P \sin \frac{\pi \ell}{\lambda} \right| \quad \lambda \in (21, 21P)$$

Pro hodnoty λ 21P funkce $|F_P(\lambda)|$ dostatečně přesně neaproximuje průběh. Ale pro použití s průtahy $P \in (1000, 10000)$ máme dostatečně široký interval použitelných vlnových délek. Pro $\lambda \rightarrow \infty$ platí:

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} |F_P(\lambda)|^* = 1$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} |F_P(\lambda)|' = 0$$

Vztah pro teoretický modul poměrné přenosové funkce byl odvozen na základě řady zjednodušení a předpokladů.

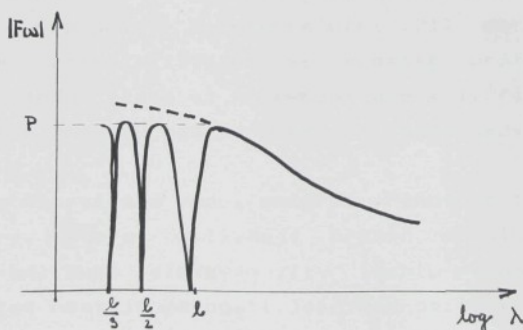
1) vlákna jsou napříměná, mají jednotnou délku a nemají vlastní nestejnomyšlnost

2) vlákna se pohybují rychlostí v_1 , až do styku s odváděcími válečky, kde se rychlost skokově mění na v_2 .

ad 1)

Zanedbáme-li vliv nestejnomyšlnosti vláken, tak vliv variability délek vláken se pravděpodobně projeví tím, že vymizí charakteristické nulové body na vlnových délkách $\lambda = \frac{l}{k}$ ($k=1, 2, 3, \dots$) a body nespojitosti na vlnových délkách $\lambda = \frac{lP}{k}$ ($k=1, 2, 3, \dots$). Průběh se vyhladí a bude mít hladký průběh viz obr.č.10, znázorněno čárkovanou čarou.

obr.č.10



ad 2)

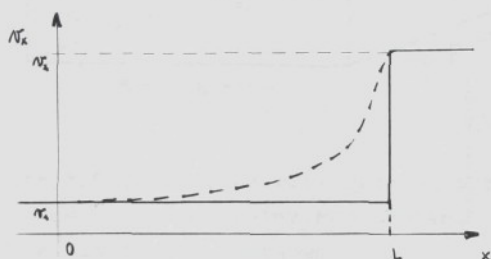
Vlákno, které je drženo podávacím ústrojím se může pohybovat rychlostí v_1 . Jakmile vlákno opustí svěrnou linii podávacího ústrojí, může se vlivem třecích sil pohybovat rychlostí z intervalu $\langle v_1, v_2 \rangle$ (pokud platí $1 < L$). Dochází k napřimování a paralelizaci vláken a tím je jejich rychlost $v_2 > v_1$, potom pro časovou konstantu platí:

$$\int_0^L \frac{dv}{v^2} < \frac{L}{v_1}$$

Zavedením této opravy se přenos změní nepatrně, ale na průběhu obalové křivky se to neprojeví.

Je-li zachyceno potahem vyčesávacího válečku, prudce přestupuje na rychlost v_2 . Na obr.č.11 je zakreslen pravděpodobný rychlostní profil vláken ve vyčesávací zóně.

obr.č.11

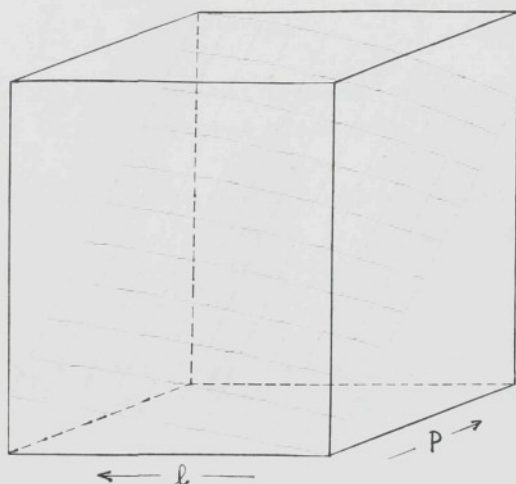


Z obr.č.8a je patrný vliv průtahu na prohloubení hmotné nestejnomyšnosti v intervalu krátkých až středních vlnových délek. Pro délky z intervalu $\lambda \in (0, 2l)$ modul dosahuje maximálních hodnot, blíživých se hodnotě průtahu. Pro vlnové délky $\lambda > 2l$ modul klesá až pro $\lambda \rightarrow \infty$ limituje k 1. Přibližně od délek $\lambda > 2lP$ průtah hmotnou nestejnomyšnost téměř neovlivňuje.

Ve vzorci pro modul poměrné přenosové funkce jsou dva parametry, které ovlivňují průběh modulu (průtah a délka vláken). Bude sledován vliv těchto parametrů na prohloubení hmotné nestejnomyšnosti. Jako hodnotící kritérium bude použito zesílení (kap.3). Průběh teoretického modulu byl aproximován obalovou křivkou v mezích λ_{min} až λ_{max} . Výsledek je znázorněn na

obr.č.9, kde třetí souřadnice je úměrná zesílení. Pro lepší zobrazitelnost, jsou všechny hodnoty normalizovány nejmenší hodnotou (nejmenší hodnota má jednotkovou velikost). Integrály jsou počítány iteračně, lichoběžníkovou metodou.

obr.č.9



Dáno:

$$P \in (1000, 10000)$$

$$l \in (0.025, 0.035) \text{ m}$$

$$\lambda \in (0.043; 5) \text{ m}$$

$$l_{\min}, P_{\min} \dots 1$$

$$l_{\min}, P_{\max} \dots 10$$

$$\begin{array}{l} \uparrow z \\ \downarrow z_{\min} \end{array} \quad \begin{array}{l} l_{\max}, P_{\min} \dots 1,11 \\ l_{\max}, P_{\max} \dots 11,8 \end{array}$$

Z obr.č.9 je patrný vliv zejména průtahu, vliv délky vláken je zcela zanedbatelný. Prohloubení hmotné nestejnoměrnosti roste lineárně s průtahem.

3.1.1.1 Zhodnocení

Z technologického hlediska, by bylo nejvýhodnější používání co nejnižších celkových průtahů P_c na přádelnických strojích. Pro aplikace na BD strojích, by to ovšem znamenalo na protahovacích strojích použití vyšších průtahů a tím prohloubení hmotné nestejnoměrnosti vlivem tohoto průtahu, nebo snížení počtu druzených pramenů, což by vedlo k potlačení vyrovnávací schopnosti druzení a zvýšení hmotné nestejnoměrnosti. Východiskem z této situace je používání regulačních posuvkových strojů, kde by se dal tento nedostatek kompenzovat a na dalších strojích by se dal použít nižší celkový průtah.

3.1.2 Modelování systému transportu vláknenných proudů

Na základě výše uvedené podstaty systému (kap.3.1), byly odvozeny vztahy pro přenos a modul tohoto systému [8].

Vycházíme z jemnosti vláknenného toku na vyčesávacím válci.

$$T_1(x) = b_1 + b_2 T_0(x+y_1) + b_3 T_0(x+y_2) + \dots + b_k T(x+y_{k-1}) =$$

$$= \sum_{j=1}^k b_j T_0(x+y_{j-1})$$

$T_0(x)$...jemnost pramene

$T_1(x)$...jemnost vláknenného toku v závislosti na x

Vlivem rozdílných úseků, kdy se vlákno z různých podintervalů pohybuje rychlostí v_1 a v_2 , dochází k vzájemnému posunutí. Pro posunutí y_j platí:

$$j = 0 \div k-1$$

$$\frac{x_j + L_0 + \Delta(k-1-j)}{v_1} + \frac{j\Delta + L_1}{v_2} = \text{konst.} \quad x_0 = 0$$

$$\frac{x_j + L_0 + \Delta(k-1-j)}{v_1} + \frac{\Delta j + L_1}{v_2} = \frac{x_{j+1} + L_0 + \Delta(k-2-j)}{v_1} + \frac{\Delta(j+1) + L_1}{v_2}$$

$$\frac{x_j - x_{j+1} + \Delta}{v_1} = \frac{\Delta}{v_2}$$

$$x_j - x_{j+1} = \Delta \left(\frac{v_1}{v_2} - 1 \right) \quad x_{j+1} = x_j$$

$$x_{j+1} - x_j = \Delta \left(1 - \frac{v_1}{v_2} \right) = \Delta_x$$

$$x_j = j \Delta_x$$

$$y_j = x_j P = j \Delta_x \frac{v_2}{v_1} = j \left(\frac{v_2 - v_1}{v_2} \right) \frac{v_2}{v_1} = j \left(\frac{v_2 - v_1}{v_1} \right) = j \Delta_y$$

U reálného procesu jsou koeficienty b_j určovány zejména otáčkami vyčesávacího válce, tvarem opěrné plochy, která vede traseň do potahu vyčesávacího válce, atd. Koeficienty b_j (pravděpodobnosti přechodu) se dají určit z hmotností úseků traseň zavedené podle obr.č.4.

$$\sum_{j=0}^{k-1} b_{0,2j+1} = 1$$

$$j = 0 - k-1$$

$$b_{j+1} = b_{0,2j+1} = \frac{m_j - m_{j+1}}{m_0} = p_{0,2j} p_{0,1,2j+1}$$

$$\left(\sum_{j=0}^{k-2} b_{0,2j+1} \right) + b_{0,2k-1} = 1$$

$$\frac{1}{m_0} \left(\sum_{j=0}^{k-2} m_j - \sum_{j=0}^{k-2} m_{j+1} \right) + b_{0,2k-1} = 1$$

$$1 - \frac{m_{k-1}}{m_0} + b_{0,2k-1} = 1$$

$$b_{0,2k-1} = \frac{m_{k-1}}{m_0}$$

A zpětně z koeficientů b_j se dají určit pravděpodobnosti $p_{2j} p_{0,2j+1}$ nebo profil traseň.

Provedením Laplaceovy transformace jemnosti výstupního a vstupního vlákenného toku získáme přenos:

$$F_{01}(p) = \frac{T_1(p)}{T_0(p)} = \frac{\sum_{j=0}^{k-1} b_{j+1} T_0 e^{p j \Delta \gamma}}{T_0} = \sum_{j=0}^{k-1} b_{j+1} e^{p j \Delta \gamma}$$

a modul přenosu. Pro odvození použijeme čtverec modulu.

$$\begin{aligned} |F_{01}(i\omega)|^2 &= \{F_{01}(i\omega) F_{01}(-i\omega)\}^{\frac{1}{2}} = \left\{ \sum_{j=0}^{k-1} b_{j+1} e^{i\omega j \Delta \gamma} \cdot \sum_{j=0}^{k-1} b_{j+1} e^{-i\omega j \Delta \gamma} \right\}^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left\{ \begin{pmatrix} b_1 + b_2 e^{i\omega \Delta \gamma} + b_3 e^{i\omega 2\Delta \gamma} + b_4 e^{i\omega 3\Delta \gamma} + \dots + b_k e^{i\omega (k-1)\Delta \gamma} \\ (b_1 + b_2 e^{-i\omega \Delta \gamma} + b_3 e^{-i\omega 2\Delta \gamma} + b_4 e^{-i\omega 3\Delta \gamma} + \dots + b_k e^{-i\omega (k-1)\Delta \gamma}) \end{pmatrix} \right\}^{\frac{1}{2}} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left\{ b_1 b_1 + b_1 b_2 e^{i\omega \Delta y} + b_1 b_3 e^{i\omega 2\Delta y} + \dots + b_1 b_k e^{i\omega (k-1)\Delta y} + \right. \\
&+ b_2 b_1 e^{-i\omega \Delta y} + b_2 b_2 + b_2 b_3 e^{(i\omega 2\Delta y - i\omega \Delta y)} + \dots + b_2 b_k e^{(i\omega (k-1)\Delta y - i\omega \Delta y)} + \\
&+ b_3 b_1 e^{-i\omega 2\Delta y} + b_3 b_2 e^{(i\omega \Delta y - i\omega 2\Delta y)} + b_3 b_3 + \dots + b_3 b_k e^{(i\omega (k-1)\Delta y - i\omega 2\Delta y)} + \\
&\dots \\
&\dots \\
&\dots \\
&+ b_{k-1} b_1 e^{-i\omega (k-1)\Delta y} + b_{k-1} b_2 e^{(i\omega \Delta y - i\omega (k-1)\Delta y)} + b_{k-1} b_3 e^{(i\omega 2\Delta y - i\omega (k-1)\Delta y)} + \dots + b_{k-1} b_k \left. \right\}^{\frac{1}{2}} \\
&= \sqrt{\sum_{j=1}^k b_j^2 + 2 \sum_{m=1}^{k-1} \sum_{n=1}^{k-m} b_m b_{m+n} \cos \omega m \Delta y}
\end{aligned}$$

Po úpravě a substituci $\omega = \frac{2\pi}{\lambda}$ dostaneme :

$$|F_{01}(\lambda)| = \sqrt{\sum_{j=1}^k b_j^2 + 2 \sum_{m=1}^{k-1} \sum_{n=1}^{k-m} b_m b_{m+n} \cos \frac{2\pi m \Delta y}{\lambda}}$$

V další části bych se chtěl zabývat rozбором vlivu koeficientů b_j na průběh teoretického modulu. Proto byly postupně zkoumány různé varianty koeficientů. Pro jejich výpočet byla použita jednotková plocha pod funkcí $f(x)$ v mezích $x \in (0, L_T)$. Potom koeficienty b_j se vypočítají:

$$b_j = \int_0^{\frac{L_T}{k}} f(x) dx \quad j = 1 \div k$$

Za funkce $f(x)$ byly vybrány 2 druhy funkcí dávající nám tyto rozdělení:

a) mocninné

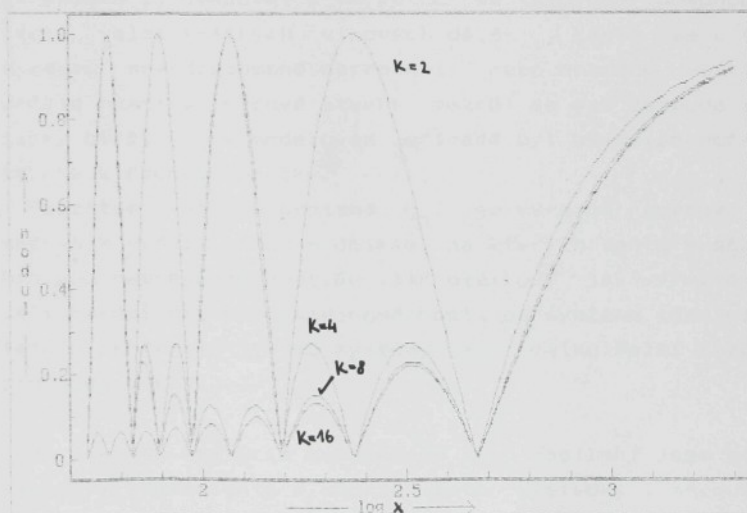
- rovnoměrné (1)
- lineární
 - klesající (2)
 - rostoucí (3)
- parabolické
 - klesající
 - konvexní (4)
 - konkávní (5)
 - rostoucí
 - konvexní (6)
 - konkávní (7)

b) goniometrické

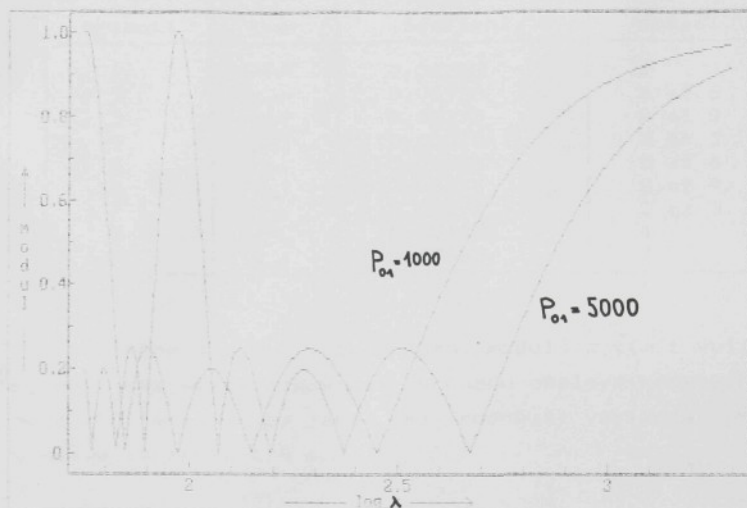
- sinus polovičního úhlu (8)
- sinus polovičního úhlu (9)
(posunutého o půl periody)

Příslušné průběhy a rovnice pro výpočet koeficientů b_i a modulů jsou uvedeny v přílohách (č.1 resp.2 až 4). Průběhy také ovlivňuje volba počtu úseků tržně (obr.č.12) a hodnota průtahu $P_{0.1}$. Je patrné, že pro rostoucí k roste počet kmitů v jedné periodě. Na obr.č.13 je znázorněno jak tyto charakteristiky ovlivňuje hodnota průtahu.

obr.č.12



obr.č.13



Průběhy modulů systému transportu vláknenných proudů mají podobný tvar jako systém cyklického druzení. Zde navíc v určitých bodech se zvyšující se vlnovou délkou a hodnotou k , v delších periodách modul kmitá v intervalu hodnot $(0, 1)$. Budeme-li uvažovat $k \rightarrow \infty$, potom se tyto body posunou do oblasti velmi krátkých vlnových délek, které se u reálného systému pravděpodobně neprojeví, nebo nebudou měřitelné. Od určité hranice (řádově stovky metrů) se pak zespoda asymptoticky blíží k 1. V modelovém případě byl uvažován počet úseků třásně k řádově desítky.

Použitím vyšších průtahů P_{01} , se výrazně posouvá hranice směrem k vyšším vlnovým délkám, na kterých tento systém tlumí hmotnou nestejnoměrnost. Je však otázkou, jak výrazně se projeví nárůst hmotné nestejnoměrnosti od systému ideálního průtahu s průtahem P_{01} v BD systému jako celku. Další rozbor bude proveden v kap. 3.3.

Na základě kritéria označeného jako zesílení jsem pro různé varianty koeficientů b obdržel tyto výsledky, shrnuté v tab. č. 1.

tab.č.1

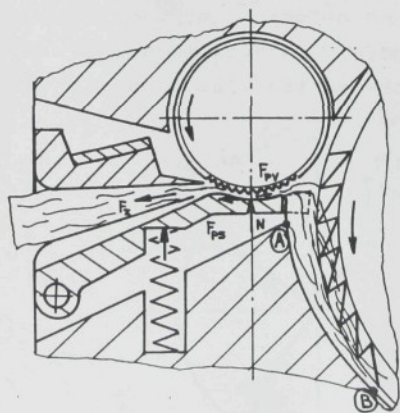
varianta	tvar	zesílení	pořadí
1		0.04268	1
2		0.05935	5 až 6
3		0.08273	8 až 9
4		0.05273	2 až 3
5		0.05935	5 až 6
6		0.08273	8 až 9
7		0.05273	2 až 3
8		0.05422	4
9		0.07863	7

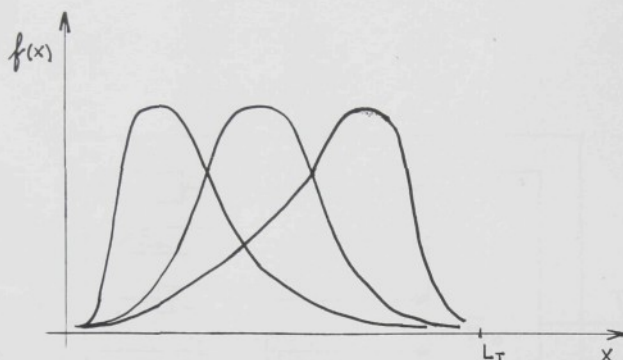
U reálného procesu, by průběh modulu a tím i velikost zesílení, měl spíše odpovídat průběhu obalové křivky. Podle tohoto kritéria, by jako nejvýhodnější varianta přicházela v úvahu varianta č.4 a 7.

3.1.2.1 Zhodnocení

Ve skutečnosti je průběh koeficientů ^{očkami v.v.} bídán konstrukčním provedením podávacího ústrojí a tvarem plochy AB vedoucí tráseň do potahu obr.č.14 a mají pravděpodobně tvar různě sešíkmeného unimodálního rozdělení obr.č.15.

obr.č.14





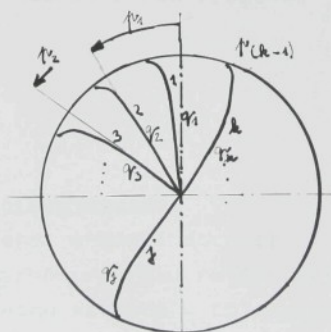
Vhodným tvarem této plochy AB by bylo možno se co nejvíce přiblížit nejvýhodnější variantě, z hlediska působení systému na hmotnou nestejnoměrnost. K tomu nám poslouží modelové koeficienty b_j , z kterých můžeme zpětně určit profil trásné a odtud i odpovídající tvar plochy.

3.2 Modelování systému kombinovaného druzení

Už v pracích [4] byl odvozen přenos a modul systému cyklického druzení. Dalším rozpracováním, za použití stejného principu, jako u systému přechodu vláken ve vyčesávací zóně, byl odvozen systém kombinovaného druzení [9].

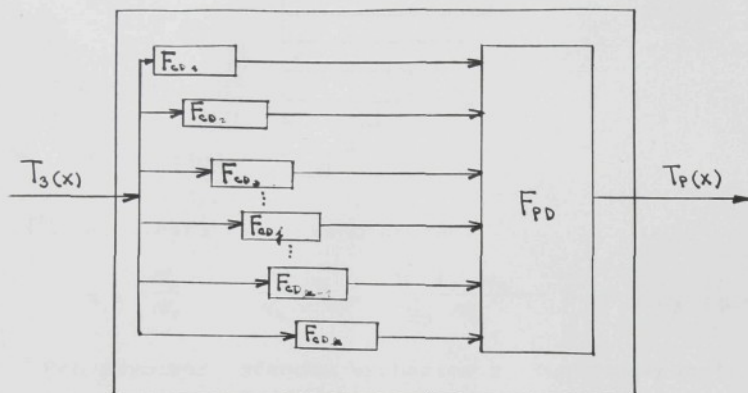
Celkový vlákenný tok, je rozdělen na dílčí vlákené proudy, které dopadají na sběrný povrch vzájemně posunuty a zde se cyklicky druzí viz obr.č.16, což pravdivěji vystihuje reálný proces.

obr.č.16



System lze rozdělit na systém postupného a cyklického druzení. Znázorněno blokovým schématem obr.č.17.

obr.č.17



Pak celkový přenos a modul lze vyjádřit :

$$F_{KD}(p) = \left(\sum_{i=1}^k F_{CD}(p) \right) F_{PD}(p)$$

$$|F_{KD}(\lambda)| = |F_{CD}(\lambda)| |F_{PD}(\lambda)|$$

$F_{KD}(p)$přenos systému kombinovaného druzení

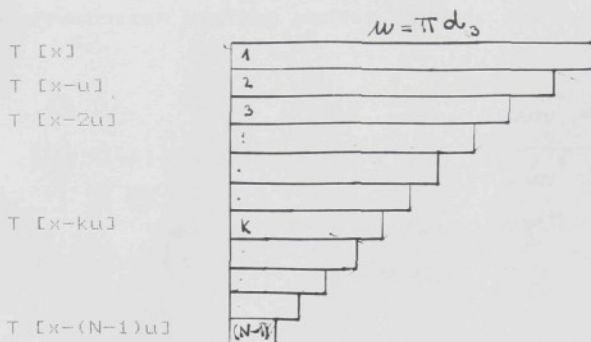
$F_{PD}(p)$přenos postupného druzení

$F_{CD}(p)$přenos cyklického druzení

Nyní provedeme rozbor jednotlivých systémů.

3.2.1 Systém cyklického druzení

V procesu cyklického druzení dochází k druzení jemných vláknenných toků na sběrném povrchu rotoru, které jsou od sebe vzdáleny o obvod sběrného povrchu u [5] obr.č.18.



N...míra cyklického družení

$$N = \frac{N_3}{N_r} = \frac{N_3}{N_4} \cdot \tau = \frac{\pi d_3 N_3}{N_4} \cdot \tau = \pi d_3 Z \tau = u Z \tau$$

Pro odvození přenosu vycházíme z funkce jemnosti vláknenného toku na sběrném povrchu (ve snímacím bodě P) při dosaženém počtu N sdružených vláknenných toků. Potom funkce jemnosti toku bude :

$$T_P(x) = T_3(x) + T_3(x-u) + T_3(x-2u) + \dots + T_3(x-(N-1)u) = \sum_{k=0}^{N-1} T_3(x-ku)$$

Provedením Laplaceovy transformace výstupního a vstupního vláknenného toku získáme přenos :

$$F_{co}(p) = \frac{T_P(p)}{T_3(p)} = \frac{T_3 \sum_{k=0}^{N-1} e^{-pku}}{T_3(p)} = \sum_{k=0}^{N-1} e^{-pku}$$

Sumu lze vyjádřit jako součet N členů geometrické řady s prvním členem $a_0 = 1$ a kvocientem $q = e^{-p u}$

$$S = a_0 \frac{1 - q^N}{1 - q}$$

a odtud pro přenosovou funkci dostaneme.

$$F_{co}(p) = \frac{1 - e^{-pNu}}{1 - e^{-pu}}$$

Pro odvození modulu poměrné přenosové funkce byl stejně jako u předchozích systémů použit čtverec modulu.

$$|F_{cd}(i\omega)|^2 = F_{cd}(i\omega) F_{cd}(-i\omega) = \frac{\sin^2 \frac{\omega \omega N}{2}}{\sin^2 \frac{\omega \omega}{2}}$$

$$|F_{cd}(i\omega)|^* = \frac{|F_{cd}(i\omega)|}{N} = \left| \frac{\sin \frac{\omega \omega N}{2}}{N \sin \frac{\omega \omega}{2}} \right|$$

Nahradíme-li $\omega = \frac{2\pi}{\lambda}$ vyjádříme modul poměrné přenosové funkce v závislosti na vlnové délce.

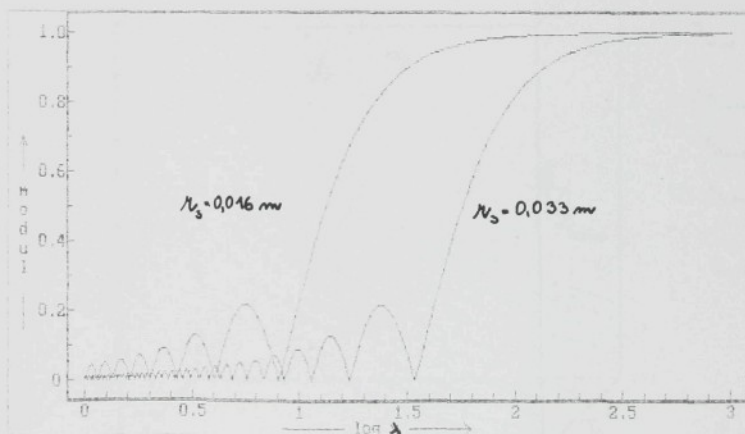
$$|F_{cd}(\lambda)|^* = \left| \frac{\sin \frac{\pi N \omega}{\lambda}}{N \sin \frac{\pi \omega}{\lambda}} \right| = \left| \frac{\lambda}{\pi N \omega} \sin \frac{\pi N \omega}{\lambda} \right|$$

$$\lambda \neq 0$$

$$\lambda \neq \frac{\omega}{k}$$

Na obr.č.19 je znázorněn teoretický průběh modulu v závislosti na λ pro dva poloměry rotorů $r_3 = 0.016$ a $r_3 = 0.033$ m.

obr.č.19



Z teoretického průběhu je vidět zestejnoměřující účinek cyklického družení, zejména na vlnových délkách $\lambda < N u$. Pro vlnové délky $\lambda > N u$ se modul asymptoticky blíží k 1. Na vlnových délkách $\lambda = \frac{N u}{k}$ ($k=1,2,3,\dots$) se teoretický průběh projevuje nespojitostmi, které se u reálného procesu zřejmě neprojeví.

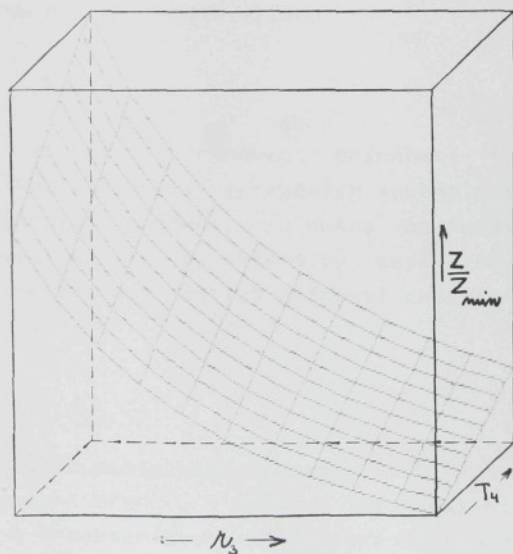
Rozborem vztahu pro modul poměrné přenosové funkce cyklického družení dostaneme parametry, ovlivňující teoretický průběh.

$$|F_{cd}(\lambda)|^* = \left| \frac{\lambda}{\pi N u} \sin \frac{\pi N u}{\lambda} \right|$$

$$\pi N u = \pi u Z v = \pi (4\pi^2 r_3^2) \frac{100 \text{ am}}{\sqrt[3]{T_4^2}} v = k r_3^2 T_4^{-\frac{2}{3}}$$

Budeme-li považovat koeficient zákrutu $am = \text{konst.}$, pak průběh modulu ovlivňuje poloměr rotoru r_3 a jemnost vyprádané příze T_4 . Stejně jako u prátahu bude sledován vliv těchto parametrů na hmotnou nestejnoměrnost. Výsledek je znázorněn na obr. č. 20.

obr. č. 20



$$N_{3, \min}, T_{4, \min} \dots 4,23$$

$$N_{3, \min}, T_{4, \max} \dots 5,57$$

$$N_{3, \max}, T_{4, \min} \dots 1,00$$

$$N_{3, \max}, T_{4, \max} \dots 1,31$$

$$\lambda \in (0,043; 5) \text{ m}$$

T_4 jemnost příze
 a_m koeficient zákrutu

$T_4 \in \langle 20, 30 \rangle$ *lex*

$a_m = 80$

r_3 poloměr rotoru

$r_3 \in \langle 0.016, 0.033 \rangle$ *m*

.... koeficient zkrácení ($\tau = 0.95$)

Z obr.č.20 je patrný vliv zejména poloměru rotoru a to tak že, čím menší poloměr, tím více systém prohlubuje hmotnou nestejnomyěrnost. Velikost zesílení se snižujícím se poloměrem roste přibližně s druhou mocninou, přičemž vliv jemnosti vyprádané příze není nevýznamný.

3.2.1.1 Zhodnocení

Současný trend zvyšování otáček rotorů má za následek používání rotorů s menším poloměrem, což vyplývá z podmínky mezní úrovně průměrné osové síly v přízi. Podle prací [5] lze zjednodušeně vyvodit vztah vyplývající z výrazu pro velikost osové síly takto:

$$r_3 n_3 = \text{konst.}$$

Volbou menších poloměrů rotorů dochází k poklesu hodnoty cyklického druzení podle vztahu

$$N = u Z \tau$$

a tím k poklesu vyrovnávací účinnosti tohoto systému. Pro dodržení kvality přízí vyráběných technologií vysokoobrátkového rotorového předení, je nutná co nejdokonalejší funkce ojednocovacího ústrojí, které by dodávalo vlákenný tok s co nejmenší nestejnomyěrností. O možnosti zajištění bylo pojednáno v kap.3.1.2.

3.2.2 Systém postupného druzení

Pro odvození přenosu a modulu lze s malými úpravami použít analogie s procesem transportu vlákenných proudů. Vycházíme z jemnosti vlákenného toku na sběrném povrchu [9].

$$T_P(x) = q_1 T_3(x) + q_2 T_3(x - p_1 u) + \dots + q_k T_3(x - p_{k-1} u) =$$

$$= \sum_{j=0}^{k-1} q_{j+1} T_3(x - p_j u) \quad p_0 = 0$$

q_j podíl jemnosti j -tého dílčího vláknenného proudu z celkové jemnosti T

p_j podíl obvodu , o který je j -tý přívod vzdálen od prvního přívodu

Provedením Laplaceovy transformace funkce jemnosti výstupního a vstupního vláknenného toku získáme přenos :

$$F_{PD}(p) = \frac{T_P(p)}{T_3(p)} = \frac{\sum_{j=0}^{k-1} q_{j+1} T_3 e^{-p p_j u}}{T_3} =$$

$$= \sum_{j=0}^{k-1} q_{j+1} e^{-p p_j u}$$

a modul.

$$F_{PD}(\lambda) = \sqrt{\sum_{j=1}^k q_j^2 + 2 \sum_{m=1}^{k-1} \sum_{n=1}^{k-m} q_m q_{m+n} \cos \frac{2\pi u (p_{m+n} - p_m)}{\lambda}}$$

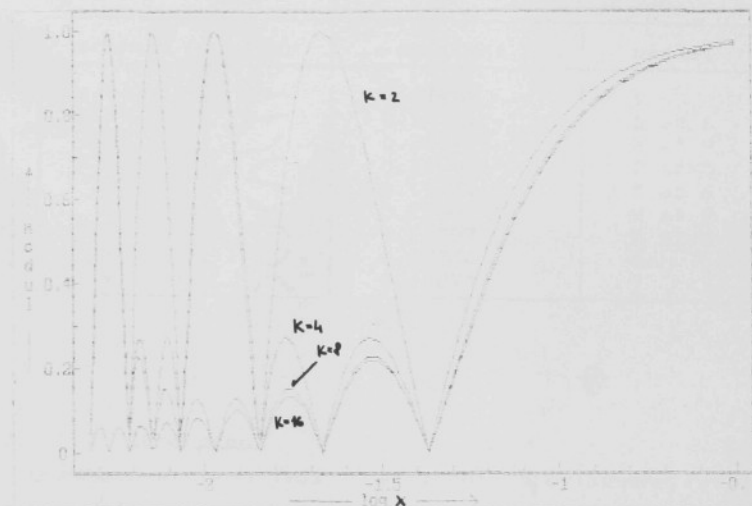
Rozborem faktorů ovlivňující teoretický průběh modulu postupného družení, máme na rozdíl od systému transportu vláknenných proudů ještě koeficienty p_j , které určují vzájemné posunutí vláknenných proudů na sběrném povrchu.

Budeme-li pro koeficienty p_j uvažovat rovnoměrné rozdělení, to je $p_j = \frac{j u}{k}$, pak faktory které ovlivňují teoretický průběh modulu jsou koeficienty q_j , které jsou analogické s koeficienty b_j (kap.3.1.2) a poloměr rotoru.

Příslušné průběhy koeficientů q_j a modulů jsou znázorněny v přílohách (č.5 resp.č.6 až č.8). Na obr.21 je znázorněno jak ovlivňuje volba počtu dílčích vláknenných proudů k průběhy modulů. Je patrné, že pro rostoucí k se prodlužuje perioda a počet kmitů v ní.

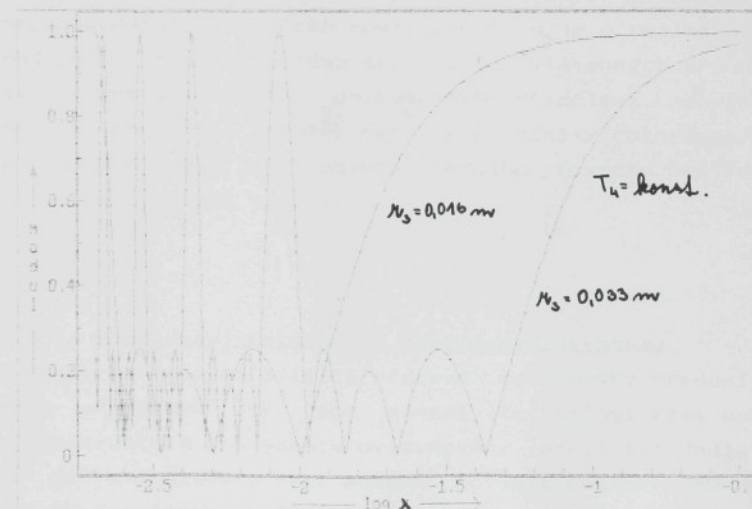
Na obr.č.22 je znázorněno, jak tyto charakteristiky ovlivňuje poloměr rotoru. Jsou uvažovány dvě mezní hodnoty $r_3 = 0.016 \text{ m}$ a $r_0 = 0.033 \text{ m}$. Pro větší průměry rotorů se hranice vyrovnatelných vlnových délek posouvá k vyšším hodnotám.

obr.č.21



$$T_4 = \text{konst.} \quad r_3 = \text{konst.}$$

obr.č.22



To co bylo řečeno v kap.3.1.2 o systému transportu vlákených proudů v podstatě platí i pro systém postupného družení (λ je řádově desetiny metrů). Výsledky jsou shrnuty v tab.č.2.

tab.č.2

varianta	tvár	zesílení	pořadí
1		0.09757	1
2		0.14271	5 až 6
3		0.20009	8 až 9
4		0.12707	2 až 3
5		0.14271	5 až 6
6		0.20009	8 až 9
7		0.12707	2 až 3
8		0.13750	4
9		0.16874	7

3.2.2.1 Zhodnocení

U tohoto systému jsou koeficienty q_i ovlivněny rychlostními poměry vláken vystupujících ze vzduchového kanálu, ventilačními poměry ve sprádací komoře vyvolané otáčením rotoru, hmotností vláken atd. Jak je vidět závisí na mnoha parametrech těžko matematicky popsatelných, ale navíc i měřitelných. Je pravděpodobné, že průběh koeficientů q_i je u reálného procesu obdobný, jako u systému transportu vlákených proudů a má tvar různě sešikmeného unimodálního rozdělení. Lze předpokládat, že pro větší průměry nebo vyšší otáčky rotorů je maximum posunuto o větší úsek obvodu sběrného povrchu než pro menší rotory nebo nižší otáčky.

3.3 Modelování rotorového doprřadacího systému

Rozborem známých dílčích procesů rotorového předení, získáme představu jak jsou danými technologickými parametry a konstrukčním provedením ovlivňovány jednotlivě. Podle pravidel blokové algebry však můžeme odvodit celkový přenos a modul BD systému jako celku a sledovat vliv těchto parametrů v komplexu, zejména R_c a r_c .

Protože se jedná o systémy řazené v sérii, výsledný přenos a modul je dán součinem všech dílčích systémů.

$$F_{BD}(\lambda) = F_P(\lambda) F_{O1}(\lambda) F_{A3}(\lambda) F_{CD}(\lambda) F_{PD}(\lambda)$$

$$|F_{BD}(\lambda)| = |F_P(\lambda)| |F_{O1}(\lambda)| |F_{A3}(\lambda)| |F_{CD}(\lambda)| |F_{PD}(\lambda)|$$

$F_{BD}(\lambda)$ přenos BD systému

$F_P(\lambda)$ přenos systému průtahu ve vyčesávací zóně

$F_{O1}(\lambda)$ přenos systému transportu vláknenných proudů

$F_{A3}(\lambda)$ přenos systému snímání a dopravy vláken ve vzduchovém kanále

$F_{PD}(\lambda)$ přenos systému postupného družení

$F_{CD}(\lambda)$ přenos systému cyklického družení

a) systém průtahu ve vyčesávací zóně (je nahrazen systémem ideálního průtahu s průtahem F_{O1})

$$|F_P(\lambda)|^* = \left| P_{O1} \sin \frac{\pi l}{\lambda} \right|$$

P_{O1} ... průtah ve vyčesávací zóně

b) systém transportu vláknenných proudů ve vyčesávací zóně,

$$|F_{O1}(\lambda)| = \sqrt{\sum_{j=1}^k b_j^2 + 2 \sum_{m=1}^{k-1} \sum_{n=1}^{k-m} b_m b_{n+m} \cos \frac{2\pi m \Delta y}{\lambda}}$$

$$b_j = \frac{j L_T}{k} \quad (k=20)$$

$$\Delta y = \frac{L_T}{k} (P_{O1} - 1)$$

c) systém snímání a dopravy vláken ve vzduchovém kanále. Tento systém je nahrazen systémem ideálního průtahu s průtahem P_{A3}

$$|F_{\lambda 3}(\lambda)|^* = \left| P \sin \frac{\pi l}{\lambda} \right|$$

$$F_{\lambda 3} = \frac{P_c N}{P_{o1}}$$

d) systém cyklického družení

$$|F_{cd}(\lambda)|^* = \left| \frac{\lambda}{\pi N w} \sin \frac{\pi N w}{\lambda} \right|$$

$$\pi N u = \pi u^2 z r = \frac{100 \pi w^2 \text{ am } r}{\sqrt[3]{T_u^2}} = \frac{400 \pi^3 u^2 \text{ am } r}{\sqrt[3]{T_u^2}}$$

e) systém postupného družení,

$$|F_{pd}(\lambda)| = \sqrt{\sum_{j=1}^k q_j^2 + 2 \sum_{m=1}^{k-1} \sum_{N=1}^{k-m} q_m q_{m+N} \cos \frac{2\pi w (N_{m+m+N-1} - N_{m-1})}{\lambda}}$$

$$q_j = \frac{j w}{k} \quad (k=20)$$

Pro praktické účely nejsou teoretické moduly příliš výhodné, protože zpravidla nemají hladký průběh. Proto budou nahrazeny obalovými křivkami, popřípadě aproximovány.

Nyní bude sledován vliv celkového průtahu P_c a poloměru rotoru r_3 na teoretický průběh modulu rotorového systému. Parametry P_c a r_3 budou uvažovány na 2 úrovních, z nichž dostaneme 4 možné kombinace.

	T_u	r_3
varianta č.1	min	min
varianta č.2	min	max
varianta č.3	max	min
varianta č.4	max	max

$$T_4 = 20 \text{ tex}$$

$$r_3 = 0.016 \text{ m}$$

$$am = 84$$

$$l = 0.03 \text{ m}$$

$$T_4 = 35 \text{ tex}$$

$$r_3 = 0.033 \text{ m}$$

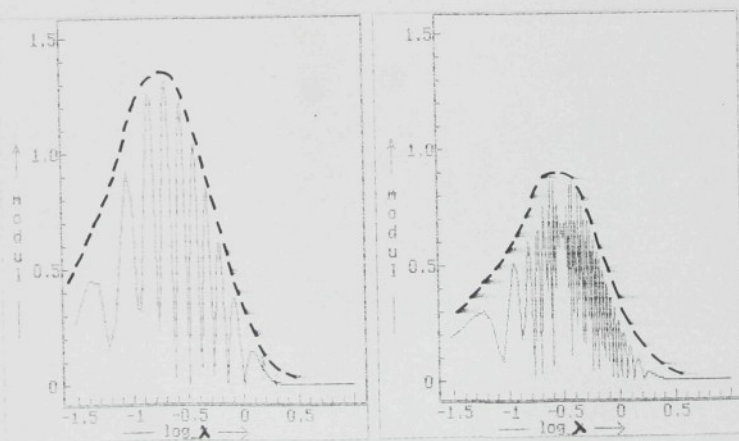
Príslušné průběhy pro jednotlivé varianty a systémy jsou zobrazeny v přílohách č.9 až č.13. Nahrazené průběhy jsou vyznačeny čárkovanou čarou.

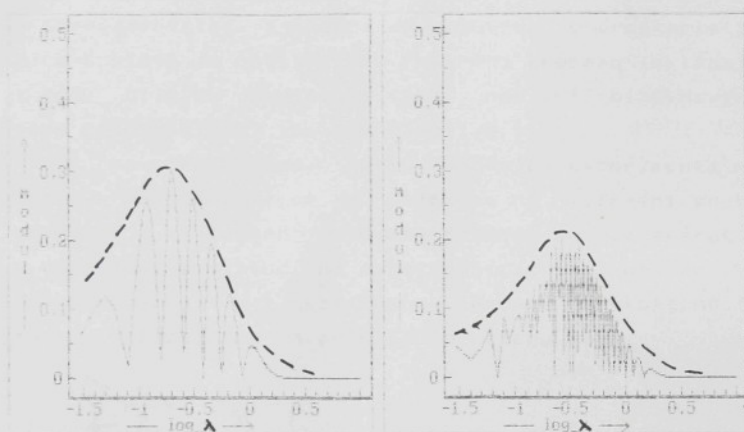
Potom pro výsledné moduly dostaneme tyto průběhy obr.č.23a,b, c,d

3.3.1 Zhodnocení

Pro BD systém, který je dán součinem dílčích systémů, byla snaha optimalizovat technologické parametry tak, aby ovlivňoval hmotnou nestejnoměrnost co nejméně. Z teoretického rozboru vyplývá, že vliv průtahu P_0 je mnohem větší než vliv poloměru rotoru r_3 .

obr.č.23 a,b





4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Teoretický úvod

Experimentální zjištění přenosových charakteristik u dílčích systémů je obtížné a u reálného procesu (skládajícího se z řady dílčích procesů) téměř nezjistitelné. Navíc ne vždy jsou tyto výsledky zcela spolehlivé.

Byl navržen postup, který umožňuje experimentální určení modulu přenosu. Metoda je založena na zjištění spektrogramů předlohy a výsledného produktu (příze) pomocí aparatury USTER a porovnání amplitud na odpovídajících si délkách. Vztah pro přepočet amplitud z grafického záznamu na skutečný fyzikální rozměr byl založen na přibližném vztahu [6].

$$\sum_{j=1}^{M_k} A_j^2 = K \cdot CV_f^2$$

A_j ... poměrná amplituda harmonické složky hmotné nestejnoměrnosti reálného vláknenného produktu o vlnové délce odpovídající i-tému kanálu (%)

CV_f ... efektivní kvadratická nestejnoměrnost

Kkonstanta úměrnosti

Ze spektrogramu odměříme amplitudy A_{mj} pro reálné amplitudy A_j můžeme napsat:

$$A_j = x \cdot A_{mj}$$

A_j ... amplituda harmonické složky hmotné nestejnoměrnosti reálného vláknenného produktu o vlnové délce odpovídající i-tému kanálu odměřená přímo ze spektrogramu (mm)

x měřítko pro přepočet odměřené amplitudy na skutečnou v (%/mm)

Po dosazení

$$CV_f^2 = K \sum_{j=1}^{M_k} (x \cdot A_{mj})^2$$

pak pro měřítko x dostaneme

$$x = \frac{CV_{ef}}{\sqrt{k \sum_{j=1}^n A_{mj}^2}}$$

Protože sledujeme vstupní (index 1) a výstupní (index 2) produkt, musíme provést výpočet měřítka pro oba produkty a odtud pro experimentální modul dostaneme:

$$|F_j| = \frac{x_2 A_{m2j}}{x_1 A_{m1j}}$$

a po dosazení

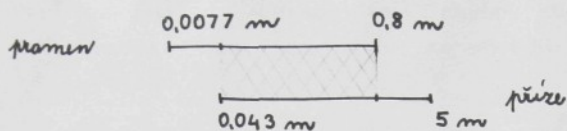
$$|F_j| = \frac{A_{m2j}}{A_{m1j}} \cdot \frac{CV_{ef2}}{CV_{ef1}} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{w_2} A_{m1j}^2}{\sum_{j=1}^{w_1} A_{m2j}^2}}$$

4.2 Experiment

Na BD stroji byly vyprádány příze $T_u=20$ a 35 tex při těchto technologických parametrech.

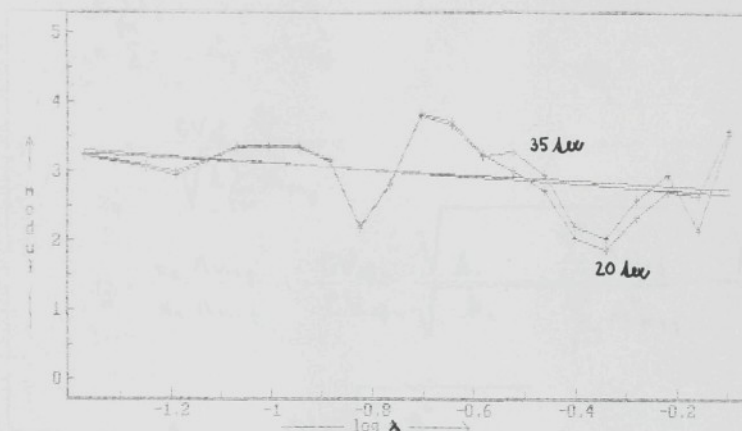
jemnost příze T_u	20 tex	35 tex
jemnost pramene T_0	3.5 ktex	
materiál	100 % ba	
koefficient zákrutu a_m	84	
délka vláken l	0.027 m	
zákruty / m	1140	788
průtah P_c	175	100
otáčky vyčesávacích válečků	7500 ot/min	
otáčky rotorů	76880 ot/min	
průměry rotorů	37 mm typ SCE 90	
odtahová rychlost	69 m/min	100 m/min

Bylo vyprádáno 8 zkušebních vzorků přízí od každé jemnosti a zjištěny spektrogramy vyrobených přízí na USTERu při měřicí rychlosti 50 m/min, čemuž odpovídá rozsah měřitelných vlnových délek $\lambda \in (0.043, 5)$ m. Spektrogramy pramene byly zjišťovány při měřicí rychlosti 8 m/min ($\lambda \in (0.0077, 0.8)$ m). Průnikem těchto intervalů dostaneme interval, ve kterém lze sestavit experimentální průběh.



Pro pramen jsme spektrogram zjišťovali jenom dvakrát a vycházeli jsme z předpokladu, že je pro všechny příze stejný. Odměření amplitud ze spektrogramů a zprůměrováním získáme průměrnou amplitudu odpovídající i-tému kanálu. Odměřené amplitudy a průměrné hodnoty jsou uvedeny v přílohách č. 14 až 16. Na obr. č. 24 jsou zobrazeny experimentální moduly pro obě příze a regresní přímky.

obr. č. 24



4.3 Zhodnocení

Sestrojením experimentálního modulu podle [6] jsme pro dané příze získali téměř shodné průběhy. Srovnáním s teoretickými moduly vychází experimentální modul několikrát větší a i pro rozdílné celkové průtahy stejný. Lze předpokládat, že uvedené rozdíly jsou způsobeny :

- 1) náhodné a systematické chyby, které systém zanáší do produktu jsou tak velké, že původní informace o působení systému se ztrácí
- 2) v pracích [6] bylo předpokládáno :

$$CV_{f_1}^2 = K_1 \sum_{j=1}^{N_k} A_{1j}^2 \quad \text{a} \quad CV_{f_2}^2 = K_2 \sum_{j=1}^{N_k} A_{2j}^2$$

$$K_1 = K_2$$

Z měření však vychází, že tyto konstanty jsou pro pramen a pro jednotlivé příze rozdílné. Zahnutím této odlišnosti, můžeme pro experimentální ^{modul} odvodit opravený vztah.

$$K \sum_{j=1}^{N_k} A_{1j}^2 = CV_{f_1}^2$$

$$k \sum_{j=1}^{N_k} (x \cdot A_{1j})^2 = CV_{f_1}^2$$

$$x = \frac{CV_{f_1}}{\sqrt{k \sum_{j=1}^{N_k} A_{1j}^2}}$$

$$F_j = \frac{x_2 A_{2j}}{x_1 A_{1j}} = \frac{CV_{f_2}}{CV_{f_1}} \frac{\sqrt{k_1 \sum_{j=1}^{N_k} A_{1j}^2}}{\sqrt{k_2 \sum_{j=1}^{N_k} A_{2j}^2}} \frac{A_{2j}}{A_{1j}} =$$

$$= \frac{A_{2j}}{A_{1j}} \frac{CV_{f_2} \sqrt{\sum_{j=1}^{N_k} A_{1j}^2}}{CV_{f_1} \sqrt{\sum_{j=1}^{N_k} A_{2j}^2}} \cdot C$$

$$C = \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} = \sqrt{\frac{\int_{\lambda_{D_2}}^{\lambda_{D_1}} \left(\frac{\sin \frac{\pi l}{\lambda}}{\pi \sqrt{\frac{l}{\lambda}}} \right)^2 d \log \lambda}{\int_{\lambda_{D_1}}^{\lambda_{D_2}} \left(\frac{\sin \frac{\pi l}{\lambda}}{\pi \sqrt{\frac{l}{\lambda}}} \right)^2 d \log \lambda}}$$

Meze a závisí na zvoleném měřicím rozsahu USTERu. Hodnoty konstanty C pro jednotlivé rozsahy jsou uvedeny v následující tabulce. (obr. 19)

PŘÍZE

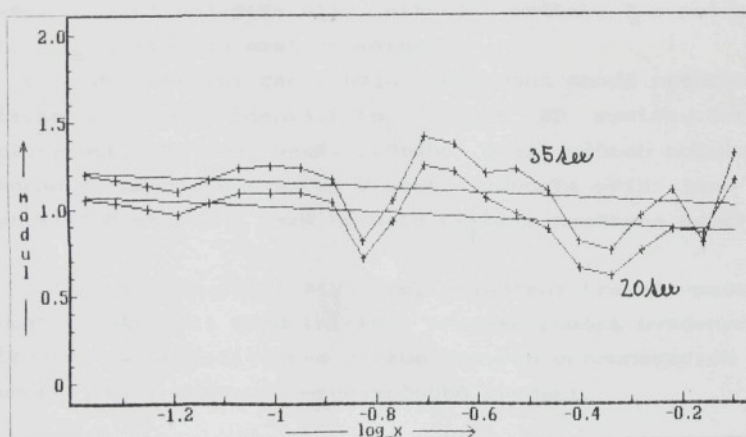
P
R
A
M
E
N

C	$\lambda_{D_2} [\text{nm}]$	0.0069	0.0432	0.0864	0.1727
$\lambda_{D_2} [\text{nm}]$	$\lambda_{H_2} [\text{nm}]$	0.8	5	10	20
0.0069	0.8	1	0.8540	0.7126	0.5291

- 3) úvahou minimálních hodnot modulu transportu vláknenných proudů ve vyčesávací zóně (viz příloha č.10).

Průběhy experimentálních modulů jsou znázorněny na obr.č.25.

obr.č.25



V teoretické části své diplomové práce jsem sledoval chování některých spřádacích procesů na rotorovém dopřádacím stroji jako dílčí dynamické systémy a dále pak rotorový systém jako celek. Přičemž hlavním hodnotícím kritériem byly průběhy modulů poměrných přenosových funkcí popř. hodnoty zesílení působení systému na hmotnou nestejnomořnost.

Pro dané dílčí systémy byly navrhovány neoptimalnější technologické parametry (celkový průtah P_c , poloměr rotoru r_3 a tvar rozdělení pravděpodobností) při kterých působí na hmotnou nestejnomořnost co nejméně, přičemž byly chápány samostatně.

Pro rotorový systém jako celek byla snaha optimalizovat technologické parametry, protože pro jednotlivé dílčí systémy nejlepší varianty nemusí dát v celku nejlepší řešení. Největší kontrverze je u systémů průtahu a transportu vláknenných proudů ve vyčesávací zóně. Z teoretických rozborů však vyplývá největší vliv celkového průtahu P_c a poloměru rotoru r_3 na hmotnou nestejnomořnost.

V experimentální části byla ověřována shoda průběhu teoretického a experimentálního modulu BD systému. Teoretická závislost, že pro vyšší průtahy P_c má průběh modulu vyšší hodnoty, nebyla potvrzena. U obou jemností přízí jsou průběhy přibližně stejné a také hodnota CV byla naměřena téměř stejná.

Závěrem bych chtěl říci že, vyjádření transformace hmotné nestejnomořnosti přádelnickými procesy pomocí uvedených prostředků, je důležité pro výzkum nových vyrovnávacích systémů popř. jiných nekonvenčních způsobů předání.

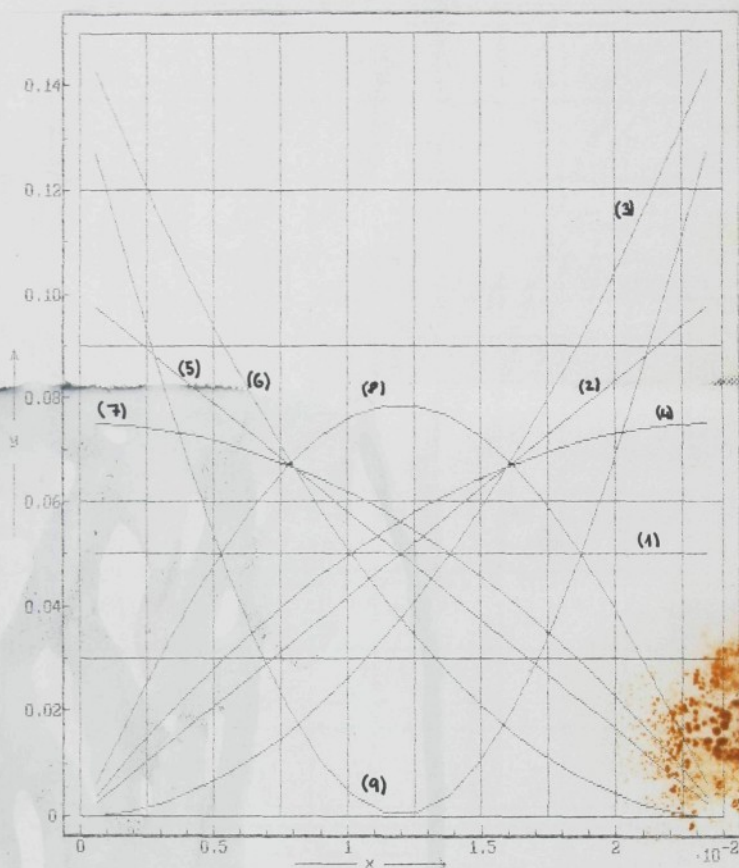
Protože nebylo možno z časových důvodů podrobněji experimentálně ověřit vliv jednotlivých konstrukčně technologických parametrů u BD systému na prohloubení hmotné nestejnoměrnosti a posoudit jejich významnost. Navrhuji provést analýzu vlivu zejména celkového průtahu a průměru rotoru na průběh modulu pokud možno na větším statistickém souboru. A dále zaměřit se na funkční závislost hodnoty CV a kvadratické plochy pod křivkou spektrogramu a ověření závislostí publikovaných v pracích [6].

P O U Ž Í T Á L I T E R A T U R A

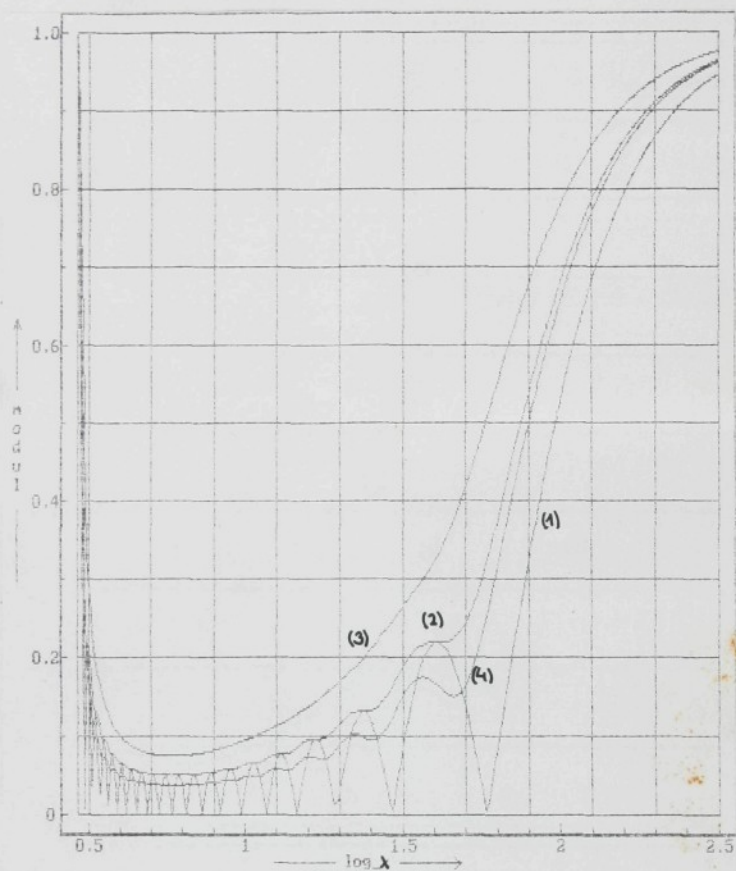
- [1] B.Hanuš,M.Balda a kol. - Skriptum:Základy technické kybernetiky,VŠST Liberec 1989
- [2] J.S.Venclová - Teorie pravděpodobnosti,Alfa Bratislava 1973
- [3] J.Veit - Integrální transformace,SNTL Praha 1983
- [4] V.Rohlena a kol. - Bezvřetenové předení,SNTL Praha 1974
- [5] P.Ursíny - Skriptum :Terie předení I,II ,VŠST Liberec 1987
- [6] A.G.Sevost'janov - Metody issledovanija nērovnoty produktov prjadēnija,Rostēchizdat Moskva 1962
- [7] J.Ripka - Spinneiheit der Maschine BD als ein dynamische System,Textiltechnik 1974 č.12 ,str.747 - 755
- [8] Šafář,P.ursíny - Objev zákonitosti lineární hmotné stejnoměrnosti vláknenných útvarů při jejich vytváření kombinovaným druzením dílčích vláknenných proudů, PO 50 - 85
- [9] časopis - Textil 1988 č.9, str.321 - 326
- [10] P.Ursíny - Skriptum:Stroje a technologie dopřádání,VŠST Liberec 1989
- [11] E.Felix - Analysierung der Ungleichmassigkeit von Garnen, Vorgarnen und Bandern an Hand das Wellenlangenspektrum, Textil - Rundschau 1955 č.1,str.1 - 9

SEZNAM PŘÍLOH

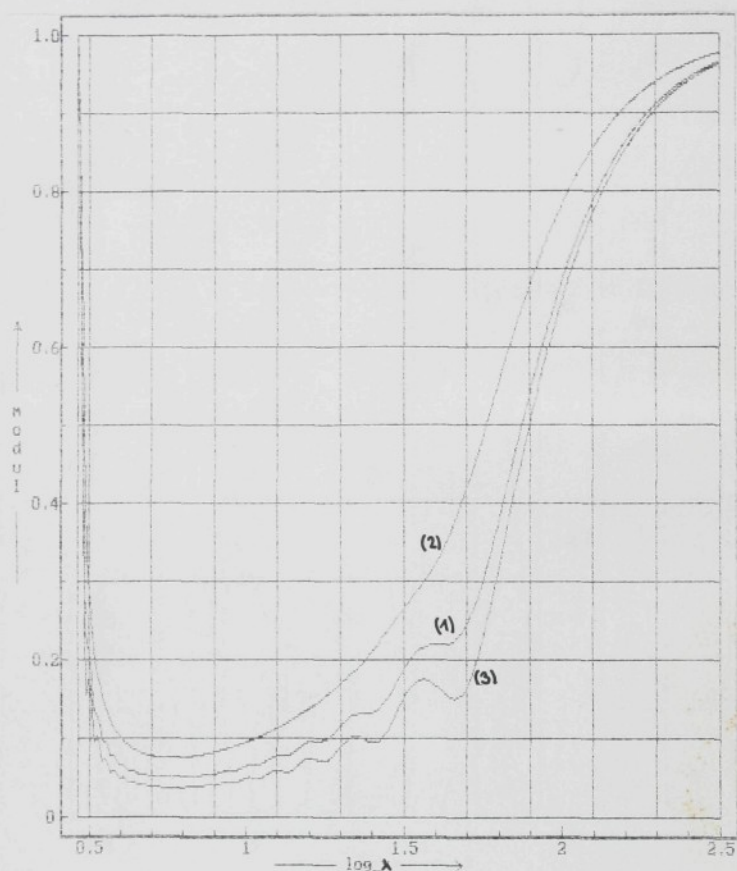
- 1) Příloha č.1 :Průběhy koeficientů b_i
- 2) Přílohy č.2 až 4 :Průběhy modulů systému transportu vlákných proudů
- 3) Příloha č.5 :Průběhy koeficientů q_i
- 4) Přílohy č.6 až 8 :Průběhy modulů systému postupného druzení
- 5) Přílohy č.9 až 13 :Průběhy dílčích systémů BD systému
- 6) Přílohy č.14 až 16 :Tabulka odměřených amplitud ze spektrogramů pramene a přízi



- (1) $f(x) = 1/t$
- (2) $f(x) = -2*(x-1t)/1t^2$
- (3) $f(x) = 2*x/1t^2$
- (4) $f(x) = 3*(x-1t)^2/1t^3$
- (5) $f(x) = -3*x^2/(2*1t^3)+3/(2*1t)$
- (6) $f(x) = 3*x^2/1t^3$
- (7) $f(x) = -3*(x-1t)^2/(2*1t^3)+3/(2*1t)$
- (8) $f(x) = (\pi*\sin(\pi*x/1t))/(2*1t)$
- (9) $f(x) = (\pi*(1+\sin(\pi*(x-1t)/1t)))/(1t*(\pi-2))$



- 1) ... rovnoměrné rozdělení
- 2) ... lineárně rostoucí rozdělení
- 3) ... kvadraticky konvexně rostoucí rozdělení
- 4) ... kvadraticky konkávně rostoucí rozdělení

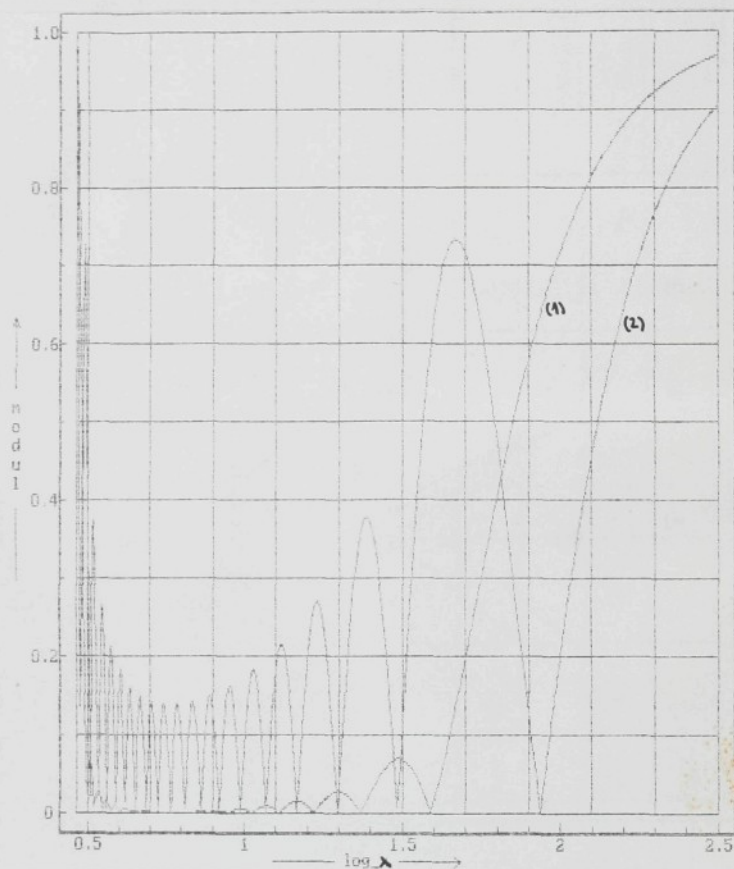


1) ... lineárně klesající rozdělení

2) ... kvadraticky konvexně klesající rozdělení

3) ... kvadraticky konkávně klesající rozdělení

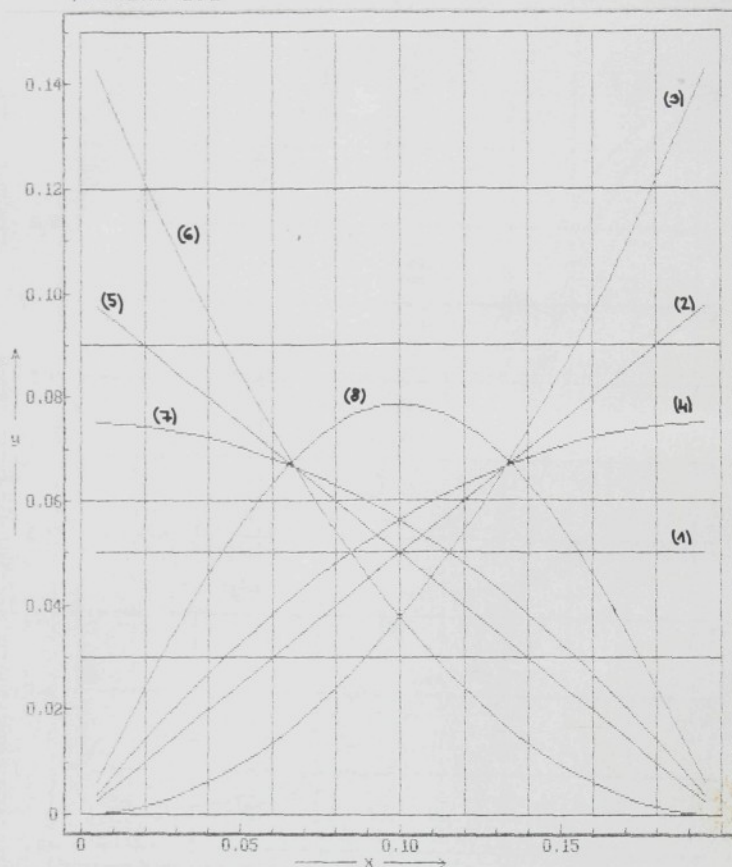
příloha č.4



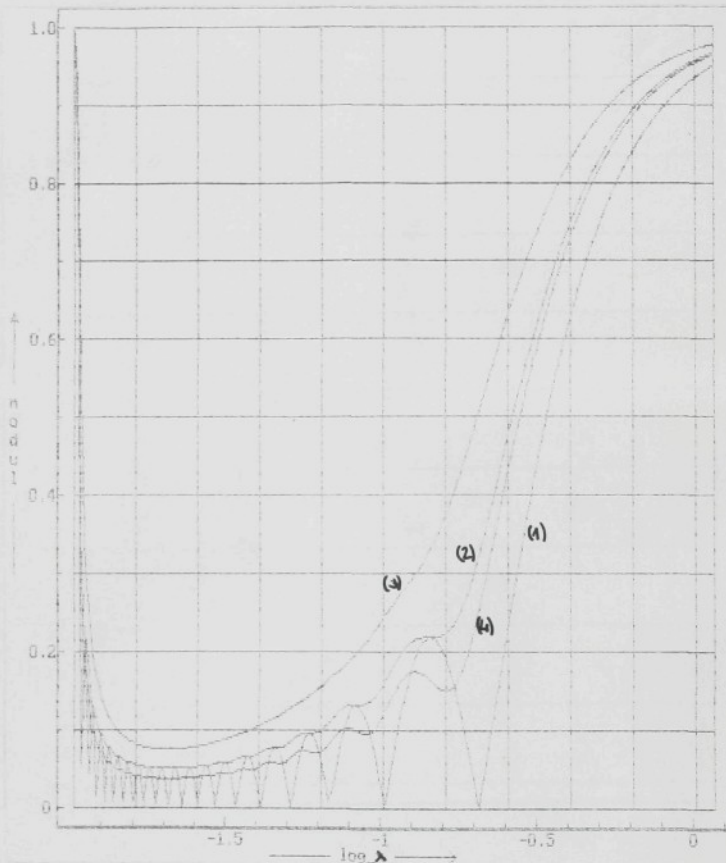
1) ... sinus polovičního úhlu

2) ... sinus polovičního úhlu posunutého o půl periody

příloha č.5



- (1) $f(x) = 1/u$
- (2) $f(x) = -2*(x-u)/u^2$
- (3) $f(x) = 2*x/u^2$
- (4) $f(x) = 3*(x-u)^2/u^3$
- (5) $f(x) = -3*x^2/(2*u^3)+3/(2*u)$
- (6) $f(x) = 3*x^2/u^3$
- (7) $f(x) = -3*(x-u)^2/(2*u^3)+3/(2*u)$
- (8) $f(x) = (\pi*\sin(\pi*x/u))/(2*u)$
- (9) $f(x) = (\pi*(1+\sin(\pi*(x-u)/u)))/(u*(\pi-2))$

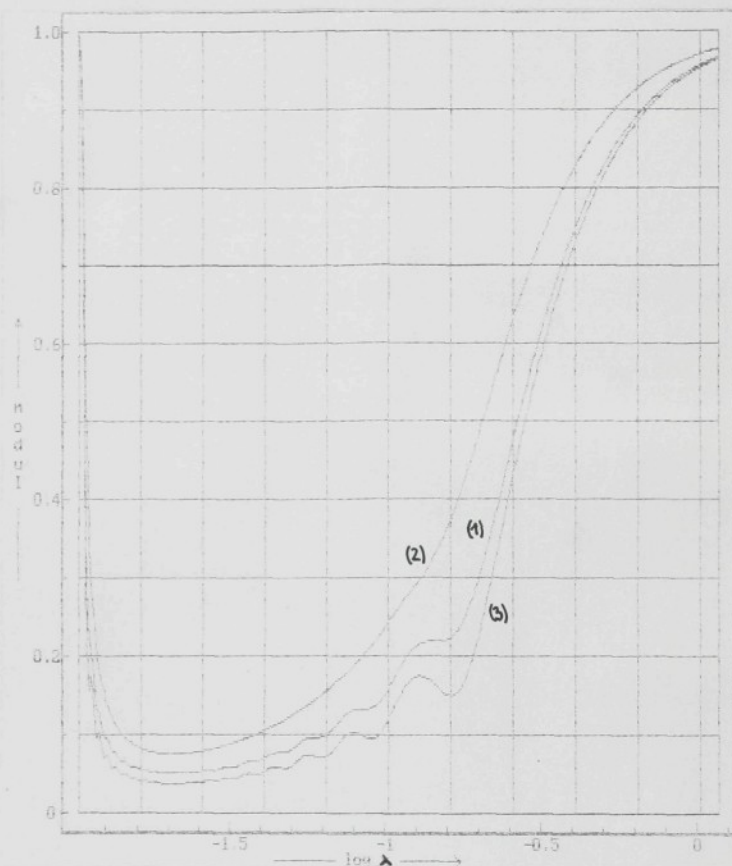


1) ... rovnoměrné rozdělení

2) ... lineárně rostoucí rozdělení

3) ... kvadraticky konvexně rostoucí rozdělení

4) ... kvadraticky konkávně rostoucí rozdělení

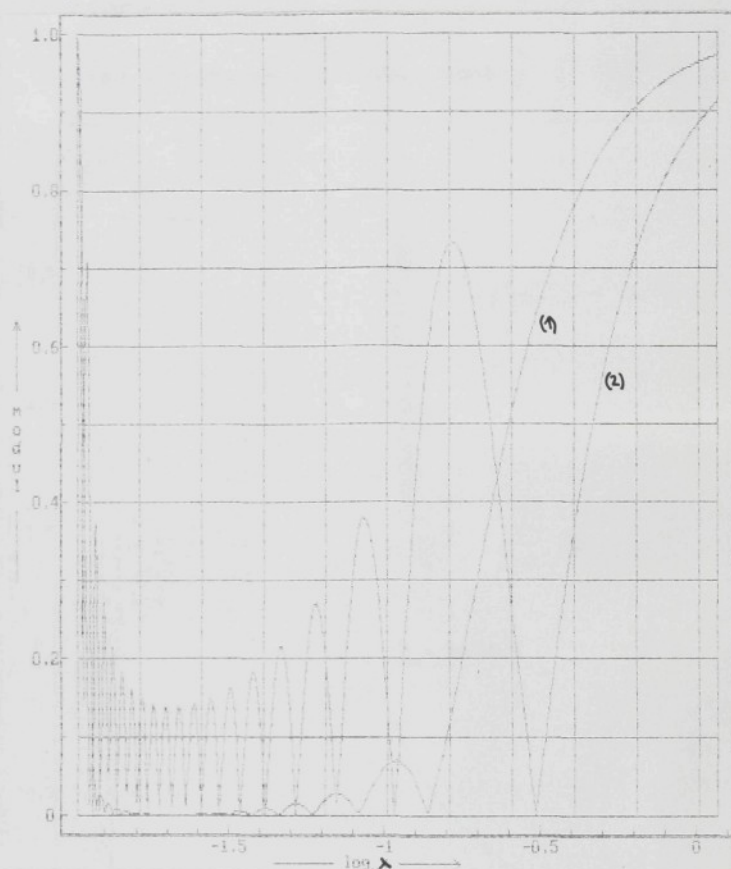


1) ... lineárně klesající rozdělení

2) ... kvadraticky konvexně klesající rozdělení

3) ... kvadraticky konkávně klesající rozdělení

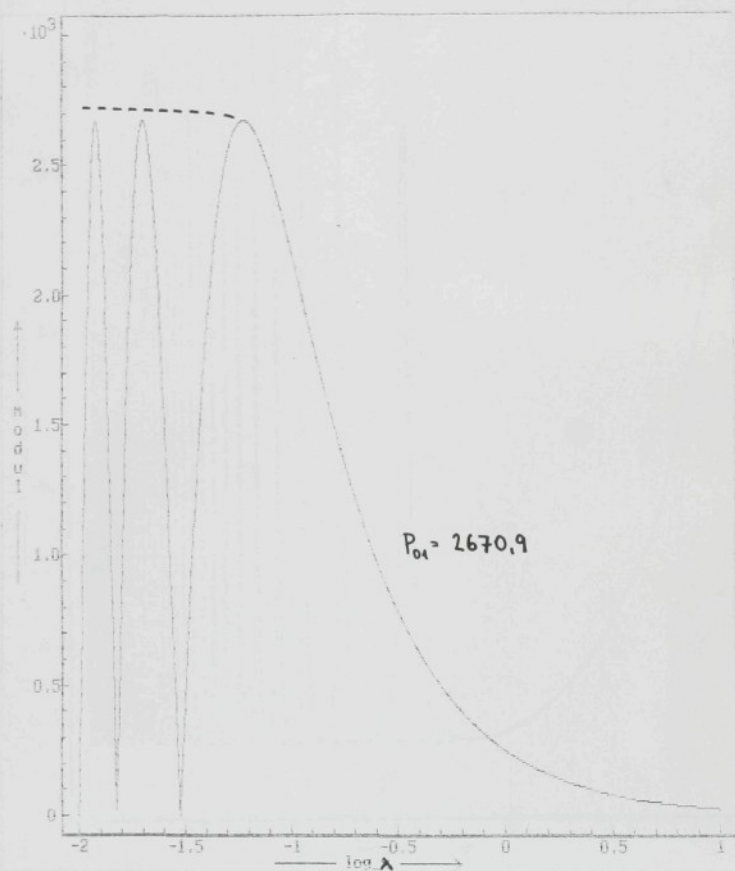
příloha č.8



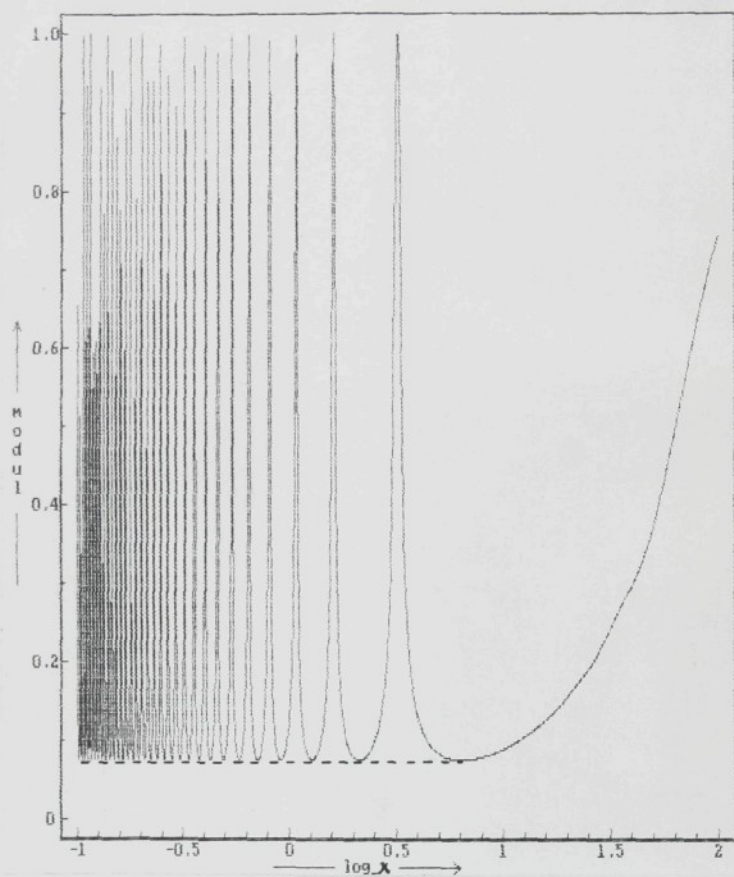
1) ... sinus polovičního úhlu

2) ... sinus polovičního úhlu posunutého o půl periody

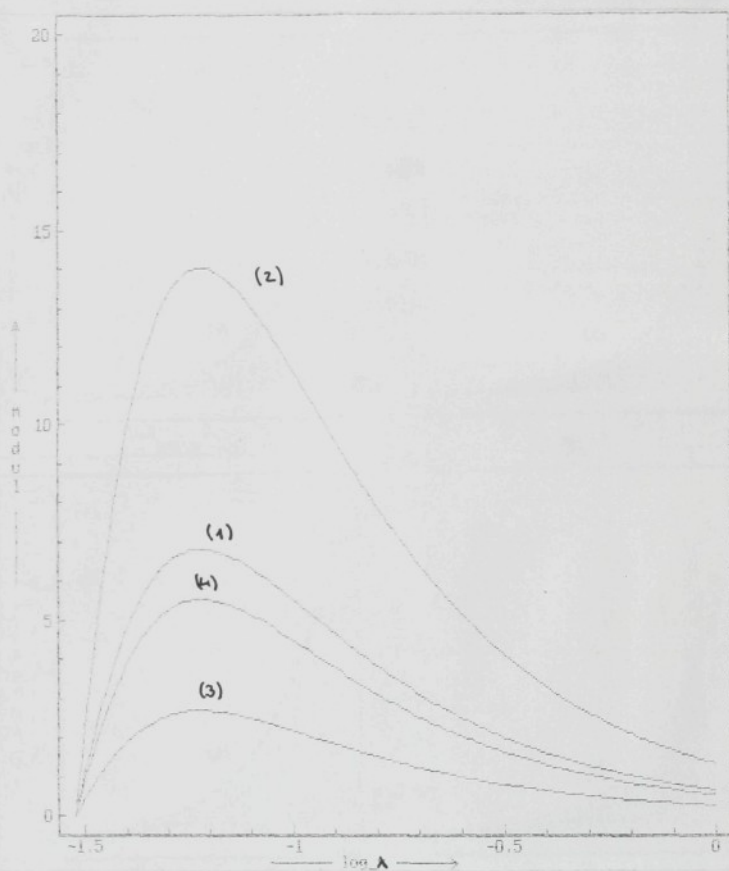
Systém prátahu ve vyčesávací zóně



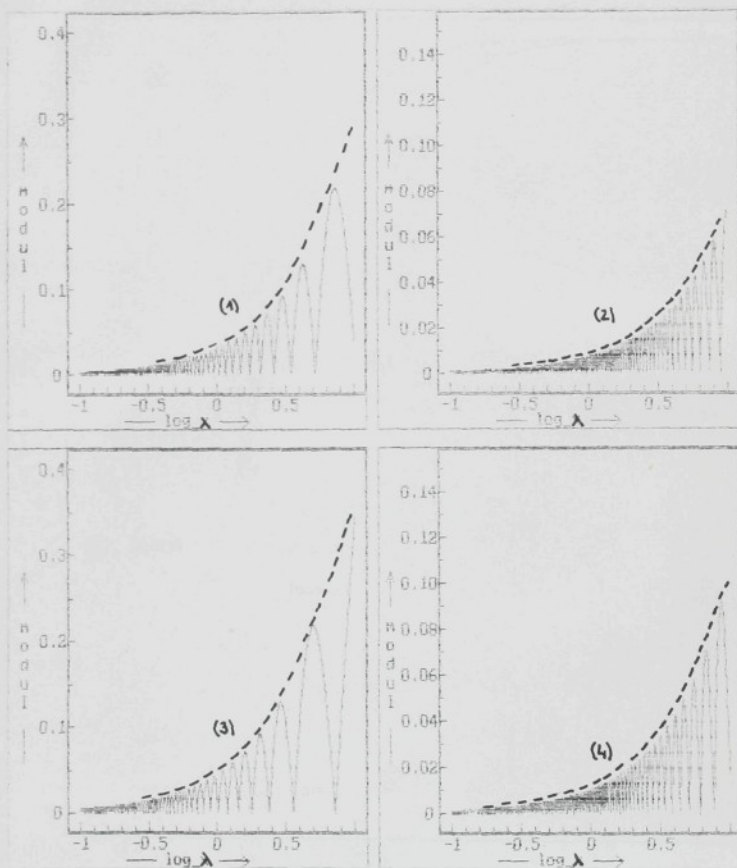
Systém transportu vláknenných proudů



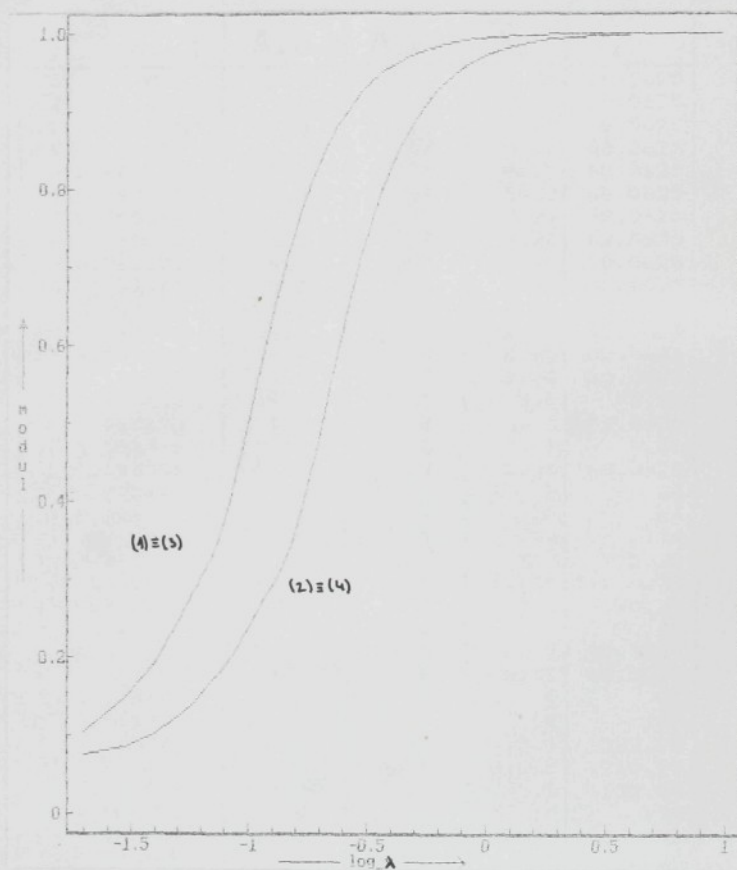
Systém snímání a dopravy vláken



System cyklického druzení



System postupného družení



příloha č.14

Odměřené amplitudy ze spektrogramu pro pramen (T = 3500 tex)

M_p	$\lambda [m]$	$A_{1,1} [mm]$	$A_{1,2} [mm]$	$\bar{A}_1$	$\bar{A}_1^2$
1	0.8	9.5	7	8.25	68.0625
2	0.695652	9.5	7	8.25	68.0625
3	0.604915	9.5	7	8.25	68.0625
4	0.526013	9.5	7	8.25	68.0625
5	0.457403	9.5	7	8.25	68.0625
6	0.397741	9.5	7	8.25	68.0625
7	0.345862	9.5	7	8.25	68.0625
8	0.30075	9.5	7	8.25	68.0625
9	0.261521	9.5	7	8.25	68.0625
10	0.22741	9.5	7	8.25	68.0625
11	0.197748	9.5	7	8.25	68.0625
12	0.171955	9.5	7	8.25	68.0625
13	0.149526	9.5	7	8.25	68.0625
14	0.130022	9.5	7	8.25	68.0625
15	0.113063	9.5	7.5	8.5	72.25
16	0.098316	9.5	8	8.75	76.5625
17	0.085492	10	8	9	81
18	0.074341	9	7.5	8.25	68.0625
19	0.064644	9	7	8	64
20	0.056212	9	7	8	64
21	0.04888	9	7	8	64
22	0.042505	10	7	8.5	72.25
23	0.03696	14.5	10	12.25	150.0625
24	0.03214	10	9	9.5	90.25
25	0.027947	8	6	7	49
26	0.024302	8	6.5	7.25	52.5625
27	0.021132	8.5	8	8.25	68.0625
28	0.018376	9	9	9	81
29	0.015979	9	11	10	100
30	0.013895	12	15	13.5	182.25
31	0.012082	14	15	14.5	210.25
32	0.010506	10	13	11.5	132.25
33	0.009136	9	11	10	100
34	0.007944	11.5	13	12.25	150.0625
35	0.006908	7	8	7.5	56.25
	CV[%]	6	5.6	5.8	2937

[illegible]

CV [%]

Odměřené amplitudy ze spektrogramu pro přízi (T = 35 tex)

 A_{2k_n} [mm]

A_{2k_1}	A_{2k_2}	A_{2k_3}	A_{2k_4}	A_{2k_5}	A_{2k_6}	A_{2k_7}	A_{2k_8}	$\bar{A}_{2k}$	$\bar{A}_{2k}^2$
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10	11	11	11	11	10.25	105.0625
8	10	10	10						