

Ministerstvo školství ČSR

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Ing. Vladimír Ohlídál

ANALÝZA PROCESU OJEDNOCOVÁNÍ
V ROTOROVÉ SPŘÁDACÍ JEDNOTCE

Číslo a název vědního oboru

39-13-9 Nauka o nekovových materiálech a stavebních
hmotách - úsek textilních materiálů

Kandidátská disertační práce

Ústí nad Orlicí, dne 27. ledna 1984

Předmluva

Předložená disertační práce je studií procesu ojednocování v rotorové spřádací jednotce s ojednocovacím ústrojím s vyčesávacím válcem. Jejím cílem je prohloubit objektivní poznání tohoto důležitého procesu ve vztahu k dosažení vyšších parametrů stroje a vyšší kvality příze.

V rámci disertace vznikla nová měřicí metoda a zařízení na měření a hodnocení toku vláken. Tato metoda se stala pevnou součástí při výzkumné práci v oblasti technologie rotorového předení.

Práce byla napsána jako výsledek studia externí vědecké aspirantury na fakultě textilní Vysoké školy strojní a textilní v Liberci. Úvodem bych chtěl vyslovit své poděkování za cenné připomínky a rady svému školiteli, doc. Ing. Petru Ursínymu, CSc., který mě po celou dobu studia vedl.

Kandidátskou disertační práci bylo možné vytvořit jenom na základě dobrých pracovních podmínek, které byly pro mě vytvořeny ve Výzkumném ústavu bavlnářském v Ústí nad Orlicí. Za zvláštní pochopení děkuji především řediteli VÚB s. Oldřichu Kašparovi, dále vedoucímu kádrového úseku s. Ing. Miloši Marešovi, vedoucímu odboru výzkumu předení s. Stanislavu Kroulíkovi a vedoucímu výzkumného úkolu s. Ing. Josefu Ripkovi, CSc.

Za spolupráci na experimentálních pracech a vyhodnocování bych chtěl poděkovat svým nejbližším spolupracovníkům s. Ludmile Lihtarové a s. Janu Junkovi. Za pomoc při práci na počítači pak s. Ing. Janu Bajusovi. Moje díky patří též řadě dalších pracovníků, které nelze na tomto místě všechny jmenovat.

V Ústí nad Orlicí 27. 1. 1984

Ing. Vladimír Ohlídál

Obsah

	strana
Titulní list	1
Předmluva	2
Obsah	3
1.0 Úvodní část	7
1.1 Úvod	7
1.2 Cíl a obsahová skladba disertace	9
1.3 Použitá označení	10
2.0 Přehled literatury	12
2.1 Popis ojednocovacího ústrojí bezvřetenového rotorového spřádacího systému	12
2.2 Ojednocovací ústrojí jako lineární dynamický systém	19
2.2.1 Aplikace lineárního dynamického systému na ojednocovací ústrojí	21
2.3 Studium ojednocování pomocí empirických vztahů	22
2.4 Pravděpodobnostní charakter procesu ojednocování	23
2.4.1 Struktura pramene	24
2.4.2 Pravděpodobnost uvolňování vláken z podávaného pramene	26
2.4.3 Studie procesu ojednocování s přihlédnutím k účinnosti snímání vláken z potahu vyčesávacího válce	30
2.4.4 Pravděpodobnostní analýza vlákenného toku	32
2.5 Zhodnocení literatury k teoretické analýze procesu ojednocování	34
2.6 Experimentální metody pro hodnocení toku vláken	34
2.6.1 Filmové snímání	35
2.6.2 Elektrické měřicí metody	36

2.6.3 Přehled používaných fotoelektrických měřicích metod	37
2.6.3.1 Rychlost toku vláken	38
2.6.3.2 Měření stupně ojednocení vláken	38
2.6.3.3 Orientace a paralelita vláken	42
2.6.3.4 Další aplikace popsané měřicí metody na spřádací jednotce	43
2.6.4 Fotoelektrické měřicí metody používané ve VÚB	46
2.6.5 Zhodnocení měřicích metod	47
3.0 Metoda a zařízení na měření toku vláken	
- FOMED	48
3.1 Výběr měřicí metody	48
3.2 Princip získání fotoelektrického obrazu toku vláken	49
3.3 Fyzikální model a přenosová funkce snímače	52
3.4 Fotoelektrický obraz pohybujících se vláken	54
3.5 Ověření přenosových vlastností snímače FOMED	57
3.5.1 Rekonstrukce fotoelektrického obrazu vláken z filmového záznamu toku vláken	57
3.5.2 Fotoelektrický obraz skupiny vláken	59
3.5.3 Střední hodnota fotoelektrického obrazu dodávky	59
3.6 Technické prostředky pro zpracování signálu ze snímače FOMED	61
3.7 Experimentální pracoviště pro měření toku vláken	61
4.0 Statistická analýza náhodného signálu	64
4.1 Náhodná funkce	64
4.1.1 Druhy náhodných funkcí	64
4.1.2 Charakteristiky náhodných funkcí	67

5.0 Vyhodnocování statistických charakteristik náhodného procesu	73
5.1 Vizualní hodnocení signálu	74
5.2 Test stacionarity	76
5.3 Ověření náhodnosti	79
5.4 Střední hodnota	80
5.5 Rozptyl	83
5.6 Rozdělení pravděpodobnosti	84
5.6.1 Rozdělení délek vlákných komplexů	92
5.7 Korelační funkce	97
5.7.1 Definice a vlastností korelační funkce	97
5.7.2 Autokorelační funkce fotoelektrického obrazu toku vláken	101
5.7.3 Hodnota AKF pro $\tau = 0$	104
5.7.4 Strmý pokles AKF v okolí $\tau = 0$	105
5.7.5 Analýza AKF z hlediska přítomnosti periodické složky v signálu	111
5.8 Spektrální analýza	119
5.8.1 Frekvenční analyzátor B & K typ 2107	121
5.9 Četnost překročení	130
5.9.1 Definice četnosti překročení	131
5.9.2 Amplitudový analyzátor	134
5.9.3 Statistické vyhodnocení výsledků měření četnosti překročení	135
5.9.4 Příklad interpretace výsledků měření četnosti překročení	139
5.9.5 Vzájemný vztah mezi nestejnoměrností dodávky a příze	140
5.9.6 Vzájemné porovnání charakteristik foto- elektrického obrazu dodávky	143
5.9.6.1 Vliv potahu vyčesávacího válce	144
5.9.6.2 Vliv otáček vyčesávacího válce	145

6.0 Experimentální část	146
6.1 Vliv objemového průtoku vzduchu v dopravním kanále a vliv otáček vyčesávacího válce na nestejnoměrnost dodávky vláken	146
6.1.1 Zhodnocení výsledků experimentu	151
6.2 Vliv potahu vyčesávacího válce na nestejnoměrnost dodávky vláken	153
6.2.1 Popis měření	154
6.2.2 Technické podmínky experimentu	154
6.2.3 Parametry jehličkových potahů	155
6.2.4 Analýza výsledků měření	155
6.3 Vliv geometrie rozčesávací zóny	168
6.3.1 Volba geometrie rozčesávací zóny	169
7.0 Souhrn, závěry a doporučení	173
8.0 Literatura	178
8.1 Práce publikované autorem	178
8.2 Ostatní použitá literatura	180

1.0 Úvodní část

1.1 Úvod

XVI. sjezd KSČ zdůraznil, že základem dlouhodobé strategie vysoké efektivity a kvality veškeré práce je převedení ekonomiky na cestu intenzivního rozvoje. To vyžaduje efektivní strukturální změny v hospodářství, racionální využívání výrobního potenciálu, vysokou hospodárnost a zhodnocování všech zdrojů. Cestou k tomu je zdokonalování řízení, široký rozvoj iniciativy pracujících a hlubší zapojování našeho hospodářství do socialistické ekonomické integrace a mezinárodní dělby práce.

Klíčovou roli v plnění této strategie musí sehrát věda, technický pokrok. Bez všestranné a rychlejší aplikace výsledků vědy a techniky nelze zabezpečit obrát k vysoké efektivitě a k intenzifikaci.

Mezi všemi mnohotvárnými společenskými funkcemi vědy a výzkumu má stěžejní význam jejich výrobní funkce. Přeměna duchovní produkce vědy v bezprostřední materiální sílu výroby vyžaduje upevnit spojení mezi vědou a výrobou, zkracovat cesty od vědeckých výsledků k jejich širokému užití ve výrobní praxi. Rozvoj výrobní funkce vědy vyžaduje, aby stavba strojů byla opřena o stále hlubší poznání zákonitostí materiálů, konstrukcí a technologie. Technická úroveň strojů je nejobecnějším ukazatelem toho, nakolik se věda už stala bezprostřední výrobní silou.

Zavedení technologie bezvřetenového rotorového předení do praxe a její rozšíření dnes již v celosvětovém měřítku je praktickým příkladem úzkého sepětí výzkumu s výrobou. Výsledek účelné spolupráce aplikovaného výzkumu a výrobce - stroj BD 200 - představoval a stále ještě představuje významný úspěch československého textilního strojírenství nejen v rámci ČSSR, ale i v zahraničí. Dnes již dvacetiletá existence BD technologie svým rozsahem aplikace dokazuje zcela přesvědčivě svoji životaschopnost a použitelnost. Výroba bavlnářských

přízí BD technologií dosáhla v ČSSR již téměř 50 %. Další rozšíření využití těchto přízí předpokládá se zaměřit na zlepšení kvality příze, zejména její struktury.

Jak ukázala světová výstav textilního strojírenství ITMA 1983 v Miláně, otáčky spřádacích rotorů současných špičkových strojů se pohybují v oblasti $80\,000\text{ min}^{-1}$ a reálnou se ukazuje oblast $100\,000\text{ min}^{-1}$. S tím souvisí úměrný nárůst procházejícího množství materiálu spřádací jednotkou, tedy i odpovídající zvýšení nároků na jednotlivé uzly. Výzkum technologie rotorového dopřádání musí řešit všechny problémy, které souvisí jednak s nárůstem výrobnosti spřádacích jednotek, dále s rozšiřováním sortimentu zpracovávané suroviny, tj. chemických vláken a zejména v poslední době otázky, související se zpracováním a využitím surovin nižší kvality. Aby mohl výzkum dobře plnit všechny tyto náročné požadavky a s patřičným předstihem dávat podklady výrobě, musí si vytvářet odpovídající podmínky pro další poznání. Musí hledat nové pracovní a experimentální metody tak, jak to daný stupeň poznání vyžaduje.

Předložená kandidátská práce vychází z požadavků výzkumu. Je orientována na analýzu funkce ojednocovacího ústrojí rotorové spřádací jednotky typu BD.

Na první pohled se může zdát, že je to téma příliš úzce zaměřené. Hlubší pohled na tuto problematiku však ukazuje, že se jedná o poměrně složitý proces s velkým počtem ovlivňujících parametrů. Důležitost tohoto uzlu spřádací jednotky v dopadu na kvalitu příze a stabilitu procesu předení si tento hlubší pohled na věc zasluhuje.

Celou problematiku lze rozčlenit na několik etap, které na sebe organicky navazují. Řešení problematiky vychází z vytvoření teoretické představy, která je pak experimentálně prověřována a uzavírá se formulací obecných zákonitostí.

K provedení nezbytných experimentálních prací bylo nutné zajistit neméně náročné pomocné etapy, jako vytvoření potřebné měřicí metody a zařízení, na to navazující způsob zpracování

signálu a jeho vyhodnocení.

V práci je tedy integrovaná činnost od teoretické představy přes návrh a realizaci měřicí metody, zpracování a vyhodnocení naměřeného signálu s využitím teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky.

Z hlediska textilní technologie, které celá práce má sloužit, jsou nejdůležitější zjištění míry vlivu parametrů, které na proces ojednocování působí a naznačené cesty k optimalizaci tohoto procesu. Z tohoto důvodu a též s ohledem na rozsah práce jsou některé pomocné etapy uvedeny v omezeném rozsahu a nejsou zde prezentovány s příslušnou exaktností. Nicméně i tyto etapy představovaly značné nároky na čas a techniku.

Disertace usiluje o účinnou syntézu a uplatnění znalostí z elektroniky a měřicí techniky s poznatky z textilní technologie, jak se s nimi autor disertace seznamoval v průběhu řešení výzkumných úkolů ve Výzkumném ústavu bavlnářském v Ústí nad Orlicí.

Rovněž originální způsob řešení vlastního snímače toku vláken FOMED, jehož původcem je autor disertace, představuje cenný nástroj v rukou výzkumníka, který, pokud lze usuzovat z publikací, nebyl dosud ve všech parametrech překonán.

1.2 Cíl a obsahová skladba disertace

Cílem disertace je analyzovat proces ojednocování na rotorové spřádací jednotce s využitím nových progresivních měřicích metod. Tento požadavek vznikl na základě potřeb výzkumu technologie rotorového předení v souvislosti se zvyšujícími se parametry rotorových spřádacích jednotek.

S růstem výrobnosti spřádací jednotky roste úměrně množství suroviny, kterou musí ojednocovací ústrojí zpracovávat při zachování nezbytné kvality ojednocení, jako předpokladu pro výpřed kvalitní příze.

Vzhledem k tomu, že se jedná o problematiku úzce specializovanou, nese s sebou uvedený požadavek nutnost nalézt

vhodnou měřicí metodu, navrhnout a realizovat zařízení, které tuto analýzu umožní.

Předložená kandidátská práce sleduje obě tyto oblasti, i když z hlediska dominantního postavení základního požadavku na technologii ojednocování je část týkající se měřicí metody a vývoje zařízení redukována.

Po úvodním přehledu literatury z oblasti teorie ojednocování a měřicích metod, následuje stručný popis měřicí metody a zařízení FOMED, které byly pro účely analýzy využívány.

V hlavní části práce je analyzován fotoelektrický obraz toku vláken v dopravním kanále spřádací jednotky statistickými metodami. Jsou hledána optimální kritéria, pomocí nichž lze sledovaný proces objektivně charakterizovat a hodnotit. Je sledována míra vlivu jednotlivých technologických nebo konstrukčních parametrů s cílem proces ojednocování optimalizovat.

Praktickou ukázkou aplikace navržené metodiky jsou experimentální práce uvedené v závěrečné části disertace.

1.3 Použitá označení

A	- zesílení
B	- šíře pásma u měření spektra
b	- délka měřicí šterbiny
D	- operátor
F_{FN}	- přenos fotonásobiče
F_{FD}	- přenos FOMED
$F(j\omega)$	- frekvenční přenos
$F_b(j\omega)$	- frekvenční přenos systému "šterbinového efektu"
$F\phi$	- přenos procesu odrazu světla od vláken
$F(x)$	- distribuční funkce
f	- frekvence
$f(x)$	- hustota pravděpodobnosti
$G(\omega)$	- výkonová spektrální hustota
$G_{UT2}(f)$	- spektrální hustota fotoelektrického obrazu Poissonovského náhodného toku vláken

ξ_h	- výrobnost spřádacího místa
K_{FD}	- konstanta FOMED
l_v	- průměrná délka vláken
E	- matematická naděje
m_i	- kumulativní četnost překročení
n_v	- otáčky vyčesávacího válečku
n_i	- prostý počet překročení na hladině U_{Hi}
P_{Hi}	- relativní velikost obrazu shluku na hladině U_{Hi}
Q_D	- objemový průtok vzduchu v dopravním kanále
$R(t_1, t_2)$	- korelační funkce náhodné proměnné
$R(\tau)$	- korelační funkce stacionární náhodné funkce
$S(j\omega)$	- spektrum
$T_t(x)$	- jemnost vlákenného produktu
$T_{t2}(t)$	- časová náhodná funkce jemnosti dodávky
U_{Hi}	- i-tá hladina fotoelektrického obrazu dodávky
$U_{T2}(t)$	- fotoelektrický obraz jemnosti toku vláken v přívodním kanále
U_{VN}	- vysoké napětí fotonásobiče
V	- variační koeficient
v_o	- podávací rychlost
v_2	- rychlost vláken v kanále
$x(t)$	- náhodná funkce
$\overline{x(t)}$	- střední hodnota náhodné funkce
$y_{21}(t)$	- periodická sinusová složka dodávky
y_{2efi}	- efektivní hodnota $y_{21}(t)$
$y_{U21}(t)$	- fotoelektrický obraz periodické složky dodávky
y_{U2mi}	- amplituda $y_{U21}(t)$
y_{U2efi}	- efektivní hodnota $y_{U21}(t)$
y_{U2efi}^g	- výška impulsu v grafu spektra směrodatných odchylek
α	- úhel čela zubu, sklonu jehly
$\alpha_{1/3}$	- zákrutový koeficient
ξ_g	- relativní chyba směrodatné odchylky
λ	- vlnová délka

$\rho(\tau)$	- normovaná korelační funkce
$\sigma_{UT2}(f)$	- směrodatná odchylka $U_{T2}(t)$ na frekvenci f
$\sigma_{UT2lim}(f)$	- limitní spektrum směrodatných odchylek fotoelektrického obrazu dodávky
τ	- časový parametr korelační funkce
Φ_e	- zářivý tok (FOMED)
Φ_z	- ztrátový zářivý tok (FOMED)
$\varphi(\omega)$	- fáze přenosu
φ_e	- získaný zářivý světelný tok
ω	- úhlový kmitočet
$\Delta\omega$	- šíře frekvenčního pásma
$\Delta t_{1,2}$	- časový posuv mezi světelnými hradly

2.0 Přehled literatury

Přehled literatury si bude všímat především dvou oblastí:

- procesu ojednocování z hlediska teoretické analýzy,
- měřicích metod vhodných k měření a hodnocení toku vláken.

Toto obsahové dělení sleduje i vlastní disertace.

2.1 Popis ojednocovacího ústrojí bezvřetenového rotorového spřádacího systému

V současné době se používá u bezvřetenových rotorových spřádacích systémů ojednocovací ústrojí s vyčesávacím válečkem, jehož schema je na obr. 1. Úkolem ojednocovacího ústrojí je zpracovat podávaný pramen tak, aby došlo k jeho rozdělení až na jednotlivá vlákna, případně menší skupiny vláken. Rozvolňování vláken musí probíhat tak, aby nedocházelo ve větší míře k jejich narušení.

Ojednocovací ústrojí členíme na základní oblasti viz např. /1/

- oblast podávání	mezi body 0 - 4
- oblast vyčesávání	4 - 5
- oblast dopravy vyčesávacím válečkem	5 - 8

- oblast snímání vláken z vyčesávacího válečku 8 - 9
- oblast dopravy vláken vzduchovým proudem 9 - 10

Toto členění je nutné doplnit ještě o velmi důležitou oblast ojednocovacích ústrojí soudobých spřádacích jednotek, tj. oblast vylučování nečistot (6 - 7).

Působení na vlákenný materiál v jednotlivých oblastech ojednocovacího ústrojí je následující:

V oblasti podávání se vstupující pramen tvaruje přibližně na obdélníkový průřez daný výstupním otvorem zhušťovače. Snaha je dosáhnout rovnoměrné podávání při rovnoměrné hustotě vláken po celém průřezu.

Mezi přitlačným stolečkem a podávacím válcem vzniká stisková oblast. Podmínkou spolehlivého podávání je překonání odporu tření stolečku o pramen a zajištění potřebné síly posuvu podávacím válcem. Silové poměry v oblasti podávání lze popsat vztahy:

$$F_{ps} = N \cdot \mu_s \quad (1)$$

$$F_{pv} = F_z + F_{ps} - F_{vv} < N \cdot \mu_v \quad (2)$$

kde

F_{ps} ... třecí síla mezi pramenem a přitlačným stolečkem

N ... přitlačná síla stolečku na pramen v oblasti stisku

μ_s ... koeficient tření pramene o stoleček

F_{pv} ... obvodová síla na podávacím válečku

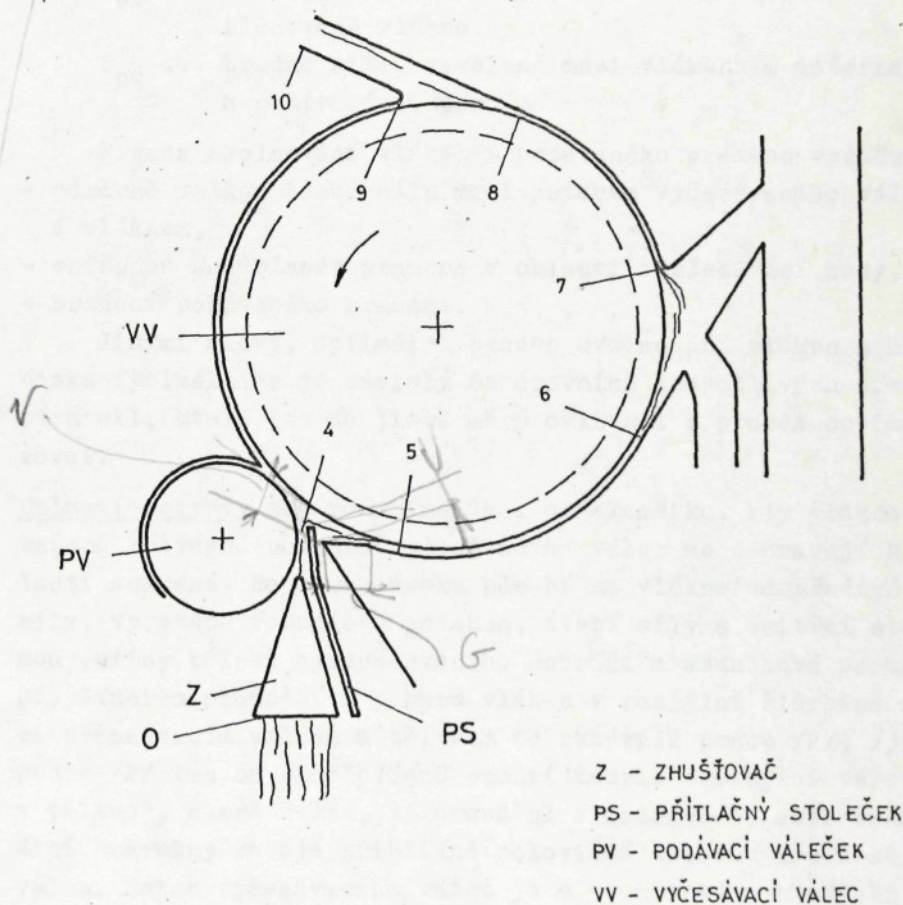
F_{vv} ... tahová síla od vyčesávacího válečku

μ_v ... koeficient tření pramene o podávací váleček

V oblasti vyčesávání působí potah vyčesávacího válečku na vlákennou tráseň tak, že z ní postupně uvolňuje vlákna anebo skupiny vláken silovým působením funkčních prvků potahu, tj. zubů, případně jehliček. K uvolnění vláken dochází tehdy, jestliže silový účinek na vlákno je větší než soudržné síly vláken. Příznivé podmínky pro uvolnění

Sh 169

SCHEMA PRŮCHODU VLÁKEN OJEDNOCOVAČÍM ÚSTROJÍM



Obr. 1

jednotlivých vláken nebo malých skupin nastávají při splnění podmínky

$$F_{vv} > F_{sv} < F'_{pv} \quad (3)$$

kde

F_{vv} ... třecí síla, kterou působí potah vyčesávacího válce na přední konec vlákna

F_{sv} ... třecí síla, kterou působí okolní vlákna na sledované vlákno

F'_{pv} ... brzdná síla, vyvolaná mezi vlákenným materiálem a podávacím ústrojím

Proces uvolňování vláken z podávaného pramene vyžaduje:

- poměrně velkou třecí sílu mezi potahem vyčesávacího válce a vláknem,
- sníženou soudržnost pramene v oblasti rozčesávací zóny,
- brzdění podávaného pramene.

Jinými slovy, optimální proces uvolňování vláken z hlediska fyzikálního je závislý na úrovních jednotlivých třecích sil, které lze do jisté míry ovlivnit a proces optimalizovat.

Oblastí dopravy zde rozumíme úsek od okamžiku, kdy vlákna vytažená z třásně potahem vyčesávacího válce se dopravují k oblasti snímání. Na tomto úseku působí na vlákna odstředivé síly, vyvozené rotujícím potahem, třecí síly s vnitřní stěnou dutiny tělesa ojednocovacího ústrojí a vzduchové proudění. Studium proudění a pohybu vláken v radiální šterbině mezi vyčesávacím válcem a tělesem se zabývají práce /2/, /3/. Podle /2/ lze na daný případ použít teorie "rotující válec v tělese", která uvádí, že proudění v jádrové oblasti radiální šterbiny rotuje přibližně poloviční úhlovou rychlostí válce. Potah vyčesávacího válce je z technického hlediska považován za drsnost.

Rozvolněná vlákna působením odstředivé síly se snaží zaujmout místo na oběžné dráze s největším poloměrem.

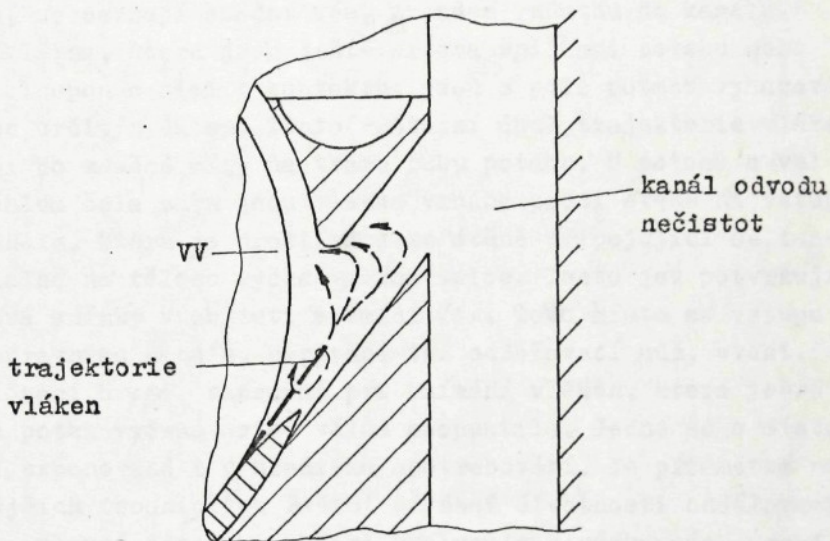
V krajním případě vlákno zcela opouští potah válce a dostává se do radiální štěrbin. V důsledku rázu s vnitřní stěnou dutiny se může do potahu opět vrátit. Jádro vzduchu, rotující přibližně poloviční rychlostí než je obvodová rychlost vyčesávacího válce a stěna tělesa, působí jako brzdící síla na vlákno a zvyšuje napětí vláken. Praktická doporučení, vyplývající z /2/ týkající se oblasti dopravy, lze shrnout takto:

- a) radiální štěrbina by neměla být z výrobně technických důvodů menší než 0,2 mm. Jako výhodná pro dopravu vláken se jeví štěrbina asi 1 mm,
- b) vyčesávací válec a jeho potah nesmí mít místa, kde by se mohla vlákna zachycovat,
- c) koeficient tření mezi vlákny a stěnou tělesa je třeba udržovat co nejmenší.

Podle /2/ rychlost vláken v oblasti pole potahu se všeobecně pohybuje níže než rychlost samotného pole potahu. V důsledku toho vzniká relativní pohyb vláken vzhledem k potahu, který rozhodujícím způsobem ovlivňuje charakter toku vláken. Rovněž se zde nedoporučuje přílišné rozšíření vzduchové mezery mezi polem potahu a dutinou tělesa.

Oblast odlučování nečistot v ojednocovacím ústrojí je zpravidla situována do úseku dopravy vláken. Jak vyplývá ze samotného principu odlučování nečistot v ojednocovacím ústrojí a jak je možno vidět z obr. 2, získaného z filmových záběrů v místě odlučovací štěrbin, vystupují vlákna z potahu. Dochází zde k jakémusi "zředění" vlákenného toku, čímž se umožní nečistotám, které mají vyšší energii, aby se od vláken odloučily a vlákna jsou účinkem protiproudu vzduchu nasávána zpět do dopravní cesty. Zavedení vylučovací štěrbin do ojednocovacího ústrojí představuje poměrně závažný zásah, zejména do vzduchového režimu spřádací jednotky a nesprávně zvolené podmínky mohou způsobit zvýšenou tvorbu vlákenných

shluků v dodávce. Snahou je, aby pohyb vláken v odlučovací štěrbině byl pokud možno plynulý bez nežádoucí tvorby vlákněných komplexů.



Obr. 2

Na správnou funkci odlučování nečistot působí celá řada faktorů, jako vzduchový režim, geometrické uspořádání funkčních ploch, samotný potah vyčesávacího válce v kombinaci s jeho otáčkami. Při optimalizaci funkce ojednocovacího ústrojí s vylučováním nečistot přistupuje další hledisko, tj. účinnost čištění a skladba vyloučeného odpadu.

Oblastí snímání rozumíme takové místo v dopravní cestě, kde vnitřní stěna dutiny tělesa ojednocovacího ústrojí je oddálena od potahu a vytváří prostor pro výstup vláken. Zároveň je to místo, v němž se napojuje přírodní kanál odvádějící vlákna do rotoru.

To, zda se vláknům podaří při dosažení vstupní zóny přírodního kanálu opustit pole potahu, závisí hlavně na

okamžité poloze tohoto vlákna v potahu, na charakteru a tvaru potahu a objemovém průtoku vzduchu v dopravním kanále. Vlákna, která při dosažení oblasti snímání se nacházejí ve vzduchové mezeře mezi polem potahu a pouzdrém vyčesávacího válce, se nechají snadno vést proudem vzduchu do kanálu.

Vlákna, která jsou ještě držena špičkami potahu nebo jsou alespoň s nimi v kontaktu, jsou z pole potahu vyhazována pod určitým úhlem. Tento výstupní úhel trajektorie vláken závisí do značné míry na tvaru zubu potahu. U potahů s velkým úhlem čela zubu jsou vlákna vrhána proti stěně na vstupu do kanálu, která je protilehlá ke stěně připojující se tangenciálně na těleso vyčesávacího válce. Tento jev potvrzují filmové snímky v oblasti snímání /4/. Toto místo na vstupu do dopravního kanálu, nazývané též oddělovací nůž, event. oddělovací hrana, napomáhá při snímání vláken, která ještě zcela potah vyčesávacího válce neopustila. Jedná se o místo velmi exponované i z hlediska opotřebování. Je předmětem nej-různějších technických řešení zvýšení životnosti oddělovací hrany. Hlavní poznatky, které vyplynuly z výzkumných prací podle /4/, týkajících se oblasti snímání, lze shrnout do těchto bodů:

1. Na snímání vláken má vliv kvalita a geometrie potahu.
2. Je výhodné dodržet zásadu, aby obvodová vzdálenost mezi vyčesávací zónou a snímací zónou byla delší než je délka staplu. Stěna tělesa má být přisazena těsně k obvodu vyčesávacího válce.
3. Vlákna vystupují z potahu ve směru tečny.
4. Dráhu vláken lze podstatně ovlivnit přívodem vzduchu do snímací zóny.

Za oblastí snímání následuje oblast dopravy vláken vzduchem. Vlákna, která obdržela určitou počáteční hybnost v oblasti snímání jsou urychlována působením proudu vzduchu o vyšší rychlosti než je výstupní rychlost vláken.

Na vstupu do kanálu mají různé rychlosti co do velikosti i směru. To komplikuje i přístup k teoretickému řešení

pohybu vláken v průtahovém poli dopravního kanálu. Kromě dopravy vláken na skluzovou stěnu rotoru plní dopravní kanál ještě funkci přidavného ojednocení vláken, napřímění a paralelity vláken. Tok vláken, nesený proudem vzduchu v dopravním kanále, je výsledným produktem ojednocovacího ústrojí a základem pro tvorbu stužky na sběrném povrchu rotoru, ze které se vložением zákrutu stává příze. Z toho vyplývá i zřejmý požadavek na dokonalé ojednocení.

2.2 Ojednocovací ústrojí jako lineární dynamický systém

Každý dynamický systém je obecně dán tokem energie nebo hmoty tímto systémem. Rovněž ojednocovací ústrojí bezvřetenového dopravního stroje možno považovat za dynamický systém, kterým prochází vláknenný materiál. Chování dynamického systému za ustáleného stavu lze popsat obvykle matematickou rovnicí diferenciální, integrální či jiného typu. Z pohledu teorie statistické dynamiky a teorie náhodných funkcí /5/, /6/, lze dynamický systém popsat přenosovými charakteristikami, tj. vztahem mezi výstupními a vstupními signály. Matematicky to lze zapsat vztahem

$$D_2 \{y_2(t)\} = D_1 \{y_1(t)\} \quad (4)$$

kde D_1 , D_2 jsou operátory použité na tyto funkce, kterými se k dané funkci určuje jiná funkce a představuje tedy souhrn matematických a logických operací. Je-li systém lineární, platí pro něj princip superpozice

$$D \left\{ \sum_i y_i(t) \right\} = \sum_i D \{y_i(t)\} \quad (5)$$

Princip superpozice lze s výhodou použít pro analýzu i syntézu složitých systémů. Metody založené na tomto principu spočívají ve zjišťování odezvy, nebo-li průběhu výstupního signálu systému na určité základní typické signály.

Odezvou na tzv. jednotkový skok je přechodová funkce, jejíž grafické znázornění se nazývá přechodová charakteristika.

K vyšetřování vlastností lineárních systémů v ustáleném stavu se používá sinusový průběh. Zapišeme-li vstupní a výstupní signál ve tvaru

$$Y_1(j\omega) = Y_{10} \cdot e^{j\omega t} ; Y_2(j\omega) = Y_{20} \cdot e^{j\omega t} \quad (6)$$

pak poměr těchto signálů se nazývá frekvenčním přenosem.

$$F(j\omega) = \frac{Y_2(j\omega)}{Y_1(j\omega)} \quad (7)$$

Frekvenční přenos je obecně komplexní veličina a jeho znázorněním v komplexní rovině dostaneme frekvenční charakteristiku

$$F(j\omega) = |F(j\omega)| \cdot e^{j\varphi(\omega)} \quad (8)$$

Podle tohoto vyjádření lze přenos považovat za vektor o amplitudě (modulu) $|F(j\omega)|$ a fázi $\varphi(\omega)$.

Spektrálním rozkladem stacionární náhodné funkce na určitém frekvenčním intervalu, můžeme získat spektrum rozptylů náhodné funkce. Platí, že rozptyl stacionární náhodné funkce se rovná součtu rozptylů všech funkcí jejího spektrálního rozkladu.

Při transformaci stacionární náhodné funkce stacionárním lineárním systémem se spektrální hustota vynásobí čtvercem modulu frekvenční charakteristiky systému pro odpovídající frekvenci

$$G_2(\omega) = |F(j\omega)|^2 \cdot G_1(\omega) \quad (9)$$

Z uvedeného vztahu vyplývá, že znalost přenosové funkce systému umožní sledovat, jak daný systém reaguje na výchylky určité frekvence.

2.2.1 Aplikace lineárního dynamického systému na ojednocovací ústrojí

Jak jsme již řekli, ojednocovací ústrojí bezvřetenového doprřadacího stroje můžeme považovat za dynamický systém s vlastnostmi lineárního a stacionárního systému. Z technologického hlediska je patrné, že tuto podmínku nám sledovaný proces splňuje. Jinak by za předpokladu, že vstupem do systému je náhodná funkce jemnosti pramene a výstupem náhodná funkce jemnosti toku vláken, tento proces nebyl stacionární, znamenalo by to narušení průběhu spřádání.

Uvažujeme tedy, že ojednocovací ústrojí je dynamickým systémem, jehož frekvenční přenos je $F_{ou}(j\omega)$. Vstupem je náhodná funkce jemnosti pramene $T_{to}(x)$ a výstupem náhodná funkce jemnosti toku vláken v dopravním kanále $T_{t2}(x)$. Pak podle vztahu (9) platí pro spektrální hustoty těchto funkcí

$$G_{Tt2}(\omega) = |F_{ou}(j\omega)|^2 \cdot G_{Tto}(\omega) \quad (10)$$

Bude-li známa amplitudová frekvenční charakteristika $F_{ou}(j\omega)$, bude možné z charakteristiky vstupního pramene zjistit charakteristiky ojednoceného toku vláken. Dalším velmi důležitým významem přenosové funkce je, že lze stanovit optimální přenosovou funkci na základě požadovaného toku vláken. Volbou vhodných technologických parametrů a vhodnou konstrukcí systému můžeme tento systém ovlivnit tak, aby jeho přenosová funkce se přiblížila optimální přenosové funkci zjištěné naznačeným způsobem.

Zjišťováním přenosové funkce ojednocovacího ústrojí se zabývá práce /7/ prof. Sevostjanova. V podstatě je teoreticko-experimentálním způsobem stanovena přenosová funkce systému podávací váleček a vyčesávací válec za předpokladu, že vlákna libovolné délky se začínají pohybovat rychlostí vyčesávacího válce v okamžiku, kdy jejich zadní konce opouštějí stisk podávacího válečku. Funkce je odvozena pro vlákenný materiál s lineárním průběhem staplového diagramu ve tvaru

$$F(j\omega) = \frac{e^{-j\omega\tau_p}}{E_1 \left[1 - \frac{j\omega l_m}{2v_1} \cdot (E_1 - 1) \right]} \quad (11)$$

kde $F(j\omega)$... přenosová funkce ojednocovacího ústrojí
(vyčesávací válec - podávací ústrojí)

$\tau_p = \frac{l_m}{v_1}$... doba podávání vlákna maximální délky
z pramene od okamžiku, kdy přední konec
vlákna je ve stisku podávacího ústrojí

v_1 ... obvodová rychlost podávacího válečku

l_m ... maximální délka vláken

E_1 ... průtah mezi vyčesávacím válcem a podá-
váním

Na tento dílčí přenos by navazovala přenosová charakte-
ristika pro systém snímání a dopravy vláken proudem vzduchu.
Odvození uvedeného vztahu není v práci /7/ naznačeno.

2.3 Studium ojednocování pomocí empirických vztahů

Některé vědecko-výzkumné práce z oblasti bezvřetenové-
ho dopřádání směřovaly ke stanovení empirických vzorců, kte-
ré mají platnost v určitém intervalu parametrů, k nimž se
funkční závislost vztahuje.

Z této oblasti je možné uvést práce /8/, /9/, /10/.
Společným znakem těchto prací je zjišťování silových účinků
při ojednocování, kdy může nastat nežádoucí krácení vláken
a tím zvětšení variačního koeficientu v délce vláken.
Poznatky z uvedených prací lze shrnout takto:

a) střední síla, kterou vyčesávací váleček působí na podáva-
ná vlákna lze matematicky zapsat

$$\bar{F} = f(n_v, v_p, T_{tp}, \delta, \bar{I}, \eta) \quad (12)$$

n_v ... otáčky vyčesávacího válečku

v_p ... podávací rychlost

T_{tp}	... jemnost pramene
δ	... usazení přitlačného stolečku k vyčesávacímu válečku
$\bar{l}$	... střední délka vláken
η	... koeficient napřímenosti vláken

- b) Čím větší je počet kontaktů potahu s podávanými vlákny, tím je větší síla $\bar{P}$.
- c) Ojednocovací síla roste s rostoucími otáčkami n_v .
- d) Síla $\bar{P}$ se zvětšuje se zvětšující se hodnotou T_{tp} .
- e) Síla $\bar{P}$ se zvětšuje s rostoucí délkou stříhu.

Pro střední sílu $\bar{P}$, kterou působí vyčesávací váleček na vláknennou tříseň je odvozen empirický vztah

$$\bar{P} = a \cdot T_{tp} \cdot n_v + b \cdot v_p - c \cdot T_{tp} \cdot v_p \quad (13)$$

kde

a, b, c ... jsou empirické konstanty.

Uvedené závislosti jsou v /10/ doplněny závislostí na potahu vyčesávacího válce, kde se uplatňuje především úhel čela zubu. Např. potah OK 40 působí větší silou než potah OK 37. Dále je zde zkoumána závislost ojednocovací síly na složení směsí předkládaného pramene. Ukazuje se, že vzájemným poměrem dvou komponent s různě velkou ojednocovací silou lze v širším rozsahu ovlivňovat ojednocovací sílu u jejich směsí. Experimentálně je to demonstrováno u směsí PESs/ba a PESs/VSS. Zkoumáním silových účinků při ojednocování se zároveň získávají informace o mechanickém namáhání vláken.

2.4 Pravděpodobnostní charakter procesu ojednocování

Na základě dosavadního výkladu lze konstatovat, že průběh ojednocování závisí na mezivláknenném tření, na tření mezi vlákny a potahem vyčesávacího válce, na struktuře a přípravě vláknenného produktu pramene, na konstrukci a technolo-

logických parametrech ojednocovacího a podávacího ústrojí. Vlákno, které má být uvolněno z podávaného pramene, je podrobno působící třecí síle, která vzniká působením potahu vyčesávacího válce na vlákenný materiál (zde se uplatňuje koeficient tření vlákno - potah). Naopak proti uvolňování vlákna působí mezivláknenné tření (koeficient tření vlákno - vlákno), ovlivňované normálními silami vyvozovanými např. mechanismem podávání. Podrobný popis všech ovlivňujících faktorů je velmi složitý a rozsáhlý. Je zřejmé, že při kvantitativním vyjádření všech vlivů nelze vystačit pouze s teoretickými prostředky, ale vlivy některých faktorů je třeba spolehlivě určit experimentálně.

Při analýze procesu ojednocování pracujeme s náhodnými veličinami a celý proces má pravděpodobnostní charakter, proto i následující kapitoly jsou k této problematice orientovány.

2.4.1 Struktura pramene

Při teoretickém zkoumání kteréhokoliv přírodního jevu se zpravidla neobejdeme bez určitého stupně idealizace. Rovněž při zkoumání vlákenných produktů se setkáváme s idealizovanými modely.

Pramen, který je předkládán procesu ojednocování se vyznačuje určitým rozložením vláken a to v průřezu i podél produktu. Charakter rozložení vláken ovlivňuje i proces ojednocování.

Pro pramen, přízi a další vlákenné produkty se zavedlo náhodné rozložení vláken dané Poissonovým zákonem rozdělení pravděpodobnosti diskrétní náhodné veličiny. Na základě této pravděpodobnostní koncepce můžeme idealizovat skutečný pramen na pramen ideální. Tento ideální pramen se vyznačuje tzv. limitní nestejnoměrností

$$CV_{\lim} = \frac{\sigma(n)}{\bar{n}} \cdot 100 = \frac{100}{\sqrt{\bar{n}}} \quad (14)$$

Struktura ideálního pramene je dílčím způsobem popsána jedno-parametrickým Poissonovým zákonem

$$P(n) = e^{-\lambda} \cdot \frac{\lambda^n}{n!} \quad (15)$$

kde

$P(n)$ pravděpodobnost výskytu n vláken v průřezu produktu

λ ... parametr Poissonova rozdělení

$$\bar{n} = \sigma^2(n) = \lambda$$

kde

$\bar{n}$... střední počet vláken v průřezu

$\sigma^2(n)$... rozptyl počtu vláken v průřezu

$$\sigma(n) = \sqrt{\bar{n}}$$

Podobně jako v příčném řezu předpokládá se i v podélném směru u ideálního pramene rozložení předních nebo zadních konců vláken (vzhledem ke směru pohybu) podle Poissonova zákona.

Pravděpodobnost toho, že za čas τ nastane m jevů, je

$$P_m(\tau) = \frac{(\lambda \tau)^m \cdot e^{-\lambda \tau}}{m!} \quad (16)$$

$$\overline{n_\tau} = \lambda \cdot \tau$$

λ je v tomto případě průměrný počet předních konců vláken připadajících na jednotku času.

Ze vztahu (16) můžeme určit pravděpodobnost, že v časovém intervalu délky τ nebude žádný konec vlákna

$$P_0(\tau) = e^{-\lambda \tau} \quad (17)$$

Ideální pramen je možné charakterizovat následujícími vlastnostmi:

- a) pramen se skládá z vláken stejné délky, stejné jemnosti a pravidelného válcovitého tvaru,
- b) počet vláken v příčných průřezích náhodně kolísá v souladu s Poissonovým zákonem rozdělení náhodné veličiny,
- c) při rovnoměrném pohybu se za časový interval τ postupně objeví m předních konců vláken s pravděpodobnostmi

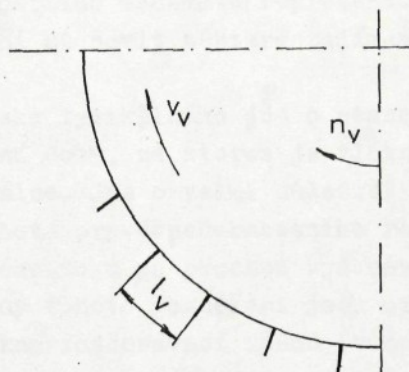
$$P_m(\tau) = \frac{(\lambda \tau)^m \cdot e^{-\lambda \tau}}{m!}$$

- d) sousední přední konce vláken jsou od sebe vzdáleny o T , což je rovněž náhodná veličina, pro kterou platí pravděpodobnost, že určitý časový interval τ je menší nebo roven T

$$P[t \leq T] = e^{-\lambda \tau} \quad (18)$$

2.4.2 Pravděpodobnost uvolňování vláken z podávaného pramene

Uložení vláken v prameni, počet vláken v průřezu pramene, to jsou všechno náhodné veličiny. Zcela logicky i proces uvolňování vláken z pramene účinkem potahu vyčesávacího válce bude mít náhodný charakter. Tato fáze tvoří základ procesu ojednocování a má pro kvalitu dodávky do spřádacího rotoru rozhodující význam. Zde se rozhoduje, zda v dodávce budou převládat ojednocená vlákna, jaký bude podíl komplexů vláken a zároveň i o stupni poškození vláken. Otázkami souvisejícími s procesem uvolňování vláken z podávaného pramene se zabývá z hlediska pravděpodobnosti práce /11/. Problematika je zde řešena pro případ vyčesávacího válce s hřebínkovým potahem. Jako hřebínkový označujeme takový potah, kde na obvodu válce jsou ve stejné vzdálenosti l_v umístěny hřebeny, viz obr. 3.



Obr. 3

Uvedený postup je možné rozšířit i na jiný typ potahu, např. jehličkový a vinutý pilkový. Také v těchto případech jehličky, event. zuby potahu, tvoří řady, rozdíl je v podstatně menší rozteči těchto řad $l_v \approx 3$ až 5 mm. Je to vždy několikrát menší vzdálenost než je délka zpracovávaných vláken a jedná se tedy o současné působení většího počtu hřebenů.

Sledovaný proces, kdy jde o zachycení, resp. nezachycení postupujícího vlákna v zóně působnosti hřebenů vyčesávacího válce při opakovaném působení hřebenů, má charakter posloupnosti pokusů, přičemž výsledkem každého pokusu je buď zachycení a odvedení vlákna vyčesávacím válcem (pohyb vlákna s rychlostí v_v) nebo nezachycení vlákna a tudíž ponechání vlákna v podávané trásní (pohyb vlákna s rychlostí v_p).

Výsledek každého pokusu závisí pouze na výsledku předcházejícího pokusu. Stochastický proces tohoto typu se nazývá markovský řetězec a tvoří část teorie pravděpodobnosti.

Zobrazení reálného fyzikálního procesu (tj. uvolňování vláken z podávaného pramene vyčesávacím válcem) pomocí pravděpodobnostního schematu reprezentovaného markovským řetězcem, umožní stanovit některé zajímavé poznatky o vlastním procesu.

Z hlediska fyzikálního jde o stanovení pravděpodobnostního rozdělení doby, za kterou je vlákno převzato hřebeny vyčesávacího válce. Jde o velmi důležitý parametr, poněvadž charakter tohoto pravděpodobnostního rozdělení určuje strukturu vláknenného toku po procesu vyčesávání. Jako charakteristické veličiny tohoto rozdělení jsou označovány střední doba průchodu vlákna rozčesávací zónou (zónou působení vyčesávacího válce) a rozptyl této doby. Je zřejmé, že rozptyl doby průchodu vlákna rozčesávací zónou souvisí s ojednocovací schopností vyčesávacího válce. Je-li rozptyl doby větší, potom skupina vláken přivedená současně do zóny působení potahu vyčesávacího válce bude s větší pravděpodobností rozptýlena na větší délkový interval než v případě, když zmíněný rozptyl bude menší.

Z analýzy vyplynulo, že charakteristické veličiny, tj. střední doba průchodu vlákna přechodovou zónou a její rozptyl jsou ovlivňovány vzdáleností mezi sousedními hřebeny, rychlostí podávaného pramene, obvodovou rychlostí vyčesávacího válce a délkou trásně, která sama je závislá na jemnosti vláken.

Podle pravděpodobnostního modelu platí, že průměrný počet vláken v podélné vrstvě vláknenného toku unášeného vyčesávacím válcem, vzniklé postupným působením hřebenů vyčesávacího válce na vláknennou tráseň obsahující m předních konců vláken

$$n_t = m \cdot \frac{1}{\Delta t \cdot v_v} \quad (19)$$

kde

- l ... střední délka vlákna /m/
 Δt ... časové rozpětí procesu převzetí m vláken ze základního podávaného vlákenného množství /s/
 v_v ... obvodová rychlost vyčesávacího válce /m.s⁻¹/

Střední počet vláken n v příčném řezu toku

$$n = \frac{m \cdot l}{v_v \cdot \tau} \quad (20)$$

po dosazení za m

$$m = \lambda \cdot \tau \quad (21)$$

kde

- λ ... hustota proudu (střední počet předních konců vláken připadajících na časovou jednotku

$$\lambda = \frac{v_p}{l} \cdot \frac{T_p}{T_v}$$

- τ ... časový interval odpovídající době mezi dopady sousedních hřebenů na třaseň /s/

$$n = \frac{v_p}{v_v} \cdot \frac{T_p}{T_v} = \frac{n_p}{P_{v-p}} \quad (22)$$

kde

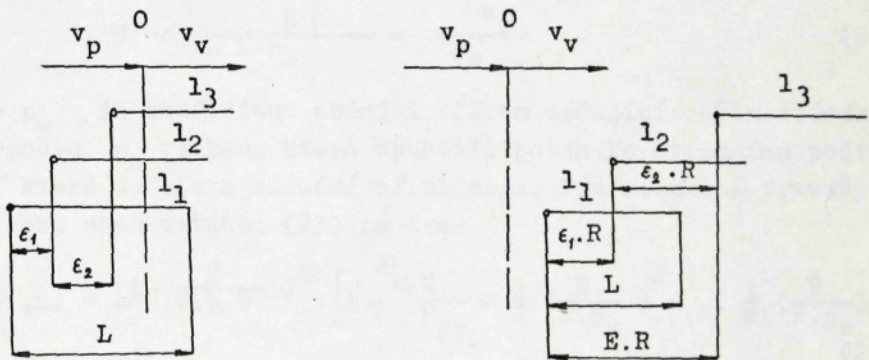
- v_p ... rychlost podávání pramene /m.s⁻¹/
 T_v ... jemnost vlákna /tex/
 T_p ... jemnost pramene /tex/
 n_p ... střední počet vláken v příčném řezu pramene
 P_{v-p} ... průtah mezi vyčesávacím válcem a podávacím ústrojím

Předpoklady pro příznivé ojednocení budou tehdy, jestliže pravděpodobnostní rozdělení času průchodu vlákna přechodovou zónou vykazuje větší rozptyl této doby a míra

charakterizující rozptýlení vláken v podélné vrstvě toku vláken bude minimální.

2.4.3 Studie procesu ojednocování s přihlédnutím k účinnosti snímání vláken z potahu vyčesávacího válce

Proces ojednocování vláken vyčesávacím válcem v souvislosti s předením ve vzduchovém vírku, analyzuje teoreticko-experimentálně ve své práci Kubica /12/. Popisovaný model procesu ojednocování vychází z práce /13/, která zavádí pojem počet překrytí vláken v příčném řezu m. Příklad rozvolnění tří vláken ukazuje obr. 4.



Obr. 4

Na obr. 4 je znázorněna situace toku vláken před a po rozvolnění. Z obrázku vyplývá, že v příčném průřezu rozvolněného toku vystupují dvě vlákna. Takový případ je označován s jedním překrytím $m = 1$. Rozvolnění na jediné vlákno odpovídá $m = 0$. V práci /12/ je odvozen vztah vyjadřující

pravděpodobnost rozvolnění pramene o středním počtu vláken $\bar{N}$, na vlákenný tok, skládající se nejvýše z m překrytí a středního počtu vláken v průřezu w_0 .

$$P(w_0, m) = e^{-\frac{\bar{N}}{R}} \cdot \left[1 + \frac{\bar{N}}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{N}}{R} \right)^2 + \dots + \frac{1}{m!} \left(\frac{\bar{N}}{R} \right)^m \right] \quad (23)$$

kde $w_0 = \frac{\bar{N}}{R}$ a $R = \frac{v_v}{v_p}$ průtah mezi podáváním a vyčesávacím válcem

Z praxe je známo, že ne všechna vlákna opustí ve snímání zóně potah vyčesávacího válce. Část vláken zůstává v potahu a tvoří tzv. obíhající vlákna. Tím se do pásma snímání přivádí vlákenný tok o středním počtu vláken $\bar{w}$

$$\bar{w} = \frac{\bar{N}}{R \cdot p_w} = \frac{w_0}{p_w} \quad (24)$$

kde p_w je koeficient snímání vláken určující poměr středního počtu w_0 vláken, která opustila potah ke střednímu počtu $\bar{w}$, která do místa snímání přicházejí. Tím se změní pravděpodobnost daná vztahem (23) na tvar

$$P(\bar{w}, m) = e^{-\left(\frac{\bar{N}}{R \cdot p_w} \right)} \cdot \left[1 + \frac{\bar{N}}{R \cdot p_w} + \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{N}}{R \cdot p_w} \right)^2 + \dots + \frac{1}{m!} \left(\frac{\bar{N}}{R \cdot p_w} \right)^m \right] \quad (25)$$

Teoretická část studie je shrnuta do těchto bodů:

1. Ojednocovací ústrojí s vyčesávacím válcem nezaručuje rovnoměrné rozdělení vláken vstupního pramene.
2. Se vzrůstem výkonnosti procesu rozvolňování se zhoršuje rovnoměrnost rozložení vláken ve vlákenném toku i v přízi.
3. Rozložení vláken na potahu vyčesávacího válce závisí na parametrech procesu ojednocování a na počtu vláken, která zůstávají v potahu.

4. Pravděpodobnost rozvolnění pramene do toku, který se skládá z nejvýše m překrytí vzrůstá, jestliže klesá počet vláken v příčném průřezu vstupního pramene, nebo když vzrůstá průtah v ojednocovacím zařízení, nebo když připustíme větší počet překrytí vláken.

2.4.4 Pravděpodobnostní analýza vláknenného toku

Vláknenným tokem v tomto případě se rozumí proud vláken nesených proudem vzduchu v dopravním kanále rotorové spřádací jednotky. Přívodní kanál zajišťuje kromě dopravy vláken k zákrutovému ústrojí též přídavné ojednocení, může pozitivně působit na paralelitu a orientaci vláken.

Pravděpodobnostní analýzou toku vláken z hlediska tzv. jednorozměrové separace se zabývá práce [14]. Jednorozměrová separace je případ, kdy dojde k přerušení toku vláken. Kontakty mezi vlákny mohou být přerušeny však i tehdy, když nedojde ke zmíněné jednorozměrové separaci. Zvyšuje-li se pravděpodobnost výskytu jednorozměrové separace, jsou příznivější podmínky pro ojednocování. Pravděpodobnost výskytu jednorozměrové separace P_s je dána vztahem

$$P_s = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\lambda^n \cdot e^{-\lambda}}{n!} \sum_{\nu=1}^{n+1} (-1)^{\nu-1} \binom{n+1}{\nu} \left(1 - \nu \frac{L'_v}{t}\right)^n \quad (26)$$

$$\lambda = \frac{t \cdot T_0}{L_v \cdot T_v \cdot P_{02}} = \frac{t \cdot n_2}{\eta \cdot L_v} \quad (27)$$

kde

- L_v skutečná střední délka vlákna /m/
 L'_v střední efektivní délka vlákna $L'_v = \eta \cdot L_v$ /m/
 n počet zadních konců vláken na intervalu délky kanálu t
 n_2 střední počet vláken v příčném řezu vláknenného toku

P_{02}	... dílčí průtah ve spřádacím systému $P_{02} = \frac{v_2}{v_0}$
t	... délka dopravního kanálu /m/
T_0	... střední jemnost pramene /tex/
T_v	... střední jemnost vlákna /tex/
v_0	... podávací rychlost /m.min ⁻¹ /
v_2	... střední rychlost toku vláken /m.min ⁻¹ /
η	... střední hodnota koeficientu napřímenosti
ν	... $\nu = 0; 1; 2; \dots; n$

Pro výpočet P_g jsou nutné parametry jako koeficient napřímení, střední hodnota počtu vláken v příčném průřezu a jejich rozptyl, dále střední rychlost vlákenného toku. Uvedené parametry je možné získat např. přímým vyhodnocením filmových záznamů.

V citované práci je uveden pro ilustraci vliv rychlosti vláken, event. průtahu P_{02} na pravděpodobnost jednorozměrové separace. Tato závislost vykazuje s rostoucím průtahem zmenšování přírůstku hodnoty P_g . Při praktické aplikaci se ukázalo, že zvyšování rychlosti proudu vzduchu a tím i rychlosti vláken je provázáno změnami dalších parametrů, jako změnou míry napřímenosti vláken, vyjádřenou koeficientem η , vedle očekávané změny středního počtu vláken v průřezu toku dochází i ke změnám jeho rozptylových charakteristik. To vše ovlivňuje sledovanou hodnotu P_g . Ukazuje se, že na dopravované vlákno působí složitý komplex vlivů a že zvyšování rychlosti proudu vzduchu nemusí znamenat zvyšování koeficientu napřímení.

Aplikací teorie pravděpodobnosti byla tedy určena míra pro hodnocení ojednocovacího účinku v dopravním kanále rotorového spřádacího systému a zároveň určen vztah pro míru napřímení vláken. Pomocí odvozených zákonitostí je možné studovat předpoklady pro získání optimálních vlastností sledovaného vlákenného poloproduktu jako základní složky finální příze.

2.5 Zhodnocení literatury k teoretické analýze procesu ojednocování

Předchozí stati kap. 2 se převážně zabývaly teoretickou analýzou procesu ojednocování. Vycházelo se z popisu funkce ojednocovacího ústrojí a fyzikální podstaty procesu ojednocování. Na základě studia náhodného charakteru sledovaného děje, byl aplikací teorie pravděpodobnosti vytvořen pravděpodobnostní model procesu ojednocování. Práce, z nichž se vycházelo, ukazují řadu cenných zákonitostí mezi důležitými parametry i tendence jejich změn. V řadě případů jsou stanoveny empirické vzorce, které by umožnily pro přesně daný vláknenný materiál a přesně vymezené podmínky stanovit potřebné parametry, které souvisí s ojednocováním vláken.

Teoretická studie ojednocování vláken vzhledem ke složitosti tohoto fyzikálního procesu musí nutně vycházet z přijatelné míry idealizace. Bylo nutné zanedbat některé vlivy, aby se získaly znalosti o vlivu technologických parametrů na míru ojednocení a optimalizaci procesu.

Zmíněná složitost procesu i při zanedbání některých méně podstatných vlivů působí, že některé vlivy nelze zcela spolehlivě teoreticky postihnout a tudíž je nutno přistoupit k experimentálnímu zkoumání. Praxe a vědecký experiment musí i v tomto případě sehrát svoji roli kriteria pravdivosti teoretických závěrů a dát nezbytné vstupní údaje, o něž se teorie může opírat.

K získání poznatků z reálných objektů je nutné vytvořit odpovídající metody a měřicí zařízení. Touto problematikou se bude zabývat další kapitola.

2.6 Experimentální metody pro hodnocení toku vláken

Rotorovou spřádací jednotku jako celek hodnotíme zpravidla podle dvou rozhodujících ukazatelů, tj. podle úrovně přetrhovosti a kvality vypřádané příze. Na stabilitu procesu předení, tedy i přetrhovost, má velký vliv kvalita vláknenného toku. Rovněž i na hmotnou stejnoměrnost příze má

rozhodující vliv dobrá funkce ojednocovacího ústrojí. V přetřetovosti a kvalitě příze jsou promítnuty již všechny vlivy, které na technologický proces předení působí. Disertace je orientována na analýzu jednoho ze dvou základních agregátů rotorové spřádací jednotky, na ojednocovací ústrojí.

Výsledným poloproduktem procesu ojednocování je vlákený tok. Podobně jako z vlastností příze hodnotíme příslušnou spřádací jednotku, technologický proces, budeme podle kvalitativních znaků toku vláken - dodávky v místě dopravního kanálu spojujícího ojednocovací ústrojí s rotorem, hodnotit funkci ojednocovacího ústrojí.

Z konstrukčního uspořádání rotorové spřádací jednotky je zřejmé, že provádět měření v dopravním kanále, nebo v jiném průřezu, kudy vlákna v průběhu ojednocování procházejí, představuje technicky velmi náročnou záležitost. Zcela logickou snahou je, aby v průběhu experimentu nedošlo k narušení technologických podmínek. Pro tyto účely se nabízí v podstatě dva způsoby, buďto fotoopticky - filmovým snímáním, nebo převedením toku vláken na odpovídající elektrický signál s následnou analýzou.

V následujícím budou stručně popsány metody užívané pro tyto účely tak, jak se s nimi autor disertace seznámil ve vlastní praxi nebo z publikací.

2.6.1 Filmové snímání

Filmové snímání patří nesporně k nejznámějším pracovním metodám. Z filmového záznamu lze získat informace o trajektoriích vláken, počtu vláken a jejich rychlosti, o napřímenosti vláken, rozložení vláken v průřezu dopravní cesty atd.

S ohledem na vysoké rychlosti, s níž se vlákna pohybují, na požadovanou hloubku ostrosti a další nároky, se prakticky neobejdeme bez speciální špičkové vysokorychlostní filmové techniky, která je schopna pracovat s mikrosekundovými dobami expozice a opakovací frekvencí 15 - 20 tisíc

snímků za sekundu. Ve VÚB se s úspěchem pro tyto účely používá již řadu let zařízení "Strobokin". Touto technikou byla získána řada unikátních snímků, ať již z ojednocovacího ústrojí nebo z rotoru /1/.

Nedostatkem fotooptických metod je, pomineme-li požadavek na náročnou techniku, nutnost konstrukční úpravy sledovaného objektu, dále časově omezené sledování a v neposlední řadě velmi pracné vyhodnocování, požadujeme-li kvantitativní vyjádření parametrů sledovaného děje. Filmování lze tedy doporučit tam, kde nám to umožňuje konstrukce vyšetřovaného objektu, kde se jedná o krátkodobý proces a kde lze hodnocení provést na základě promítnutí filmu.

2.6.2 Elektrické měřicí metody

Elektrické měřicí metody vhodné pro aplikaci na diskrétní tok vláken lze podle použitého snímače rozdělit na kapacitní, fotoelektrické a ionizační.

Jak vyplývá z literatury, pro použití na spřádací jednotce se prosadily metody fotoelektrické. V textilním průmyslu jsou sice rozšířeny především kapacitní snímače, ale pro aplikaci při sledování průchodu materiálu spřádací jednotkou nejsou vhodné. Zejména z důvodů konstrukce snímače, rozlišovací schopnosti a citlivosti, stability pracovní frekvence a možnosti rušení. Rovněž metoda využívající ionizujícího záření není pro daný účel vhodná a to především ze dvou důvodů:

- nutnost práce se zdrojem ionizujícího záření a jeho obtížná instalace na spřádací jednotku,
- nízká četnost rozpadů na časovou jednotku vzhledem k počtu změn lineární hmotnosti toku vláken.

Použití fotoelektrických metod je podmíněno zejména vysokým stupněm miniaturizace jednotlivých prvků, dále dostatečnou citlivostí a odolností k rušivým vlivům, zejména

pracuje-li se v oblasti infračerveného světla.

Podle uspořádání použitého snímače se fotoelektrické metody dělí na ty, které pracují s procházejícím světlem nebo na ty, které pracují s odraženým světlem. Dalším hlediskem může být, jestli snímač obsáhne celý průřez dopravní cesty vláken nebo jen jeho část.

Z publikací vyplývá, že mimo VÚB se touto formou výzkumné práce zabývají na Institutu pro textilní techniku v Cáchách, dále v Japonsku na univerzitě v Grifu a firma Schlafhorst.

2.6.3 Přehled používaných fotoelektrických měřicích metod

V pracech /15/, /16/, /17/, /18/, /3/ jsou popsány měřicí metody, využívající fotoelektrických hradel vytvořených dvojicí fototranzistor - svítivá dioda, pracující s procházejícím světlem.

Princip činnosti spočívá v tom, že vyšetřovaný tok vláken protíná optickou osu této soustavy a podle stupně zaclonění vzniká odpovídající elektrický signál.

Základním nedostatkem těchto metod je, že neobsáhnou celý průřez dopravní cesty. Tím se informační obsah signálu snižuje. Nelze v tomto případě zjišťovat základní statistické charakteristiky vlákenného toku, tj. střední hodnotu, rozptyl atd. Uvádí se, že tímto způsobem při aplikaci na dopravní kanál spřádací jednotky je kontrolováno asi 15 až 20 % průřezu. Na druhé straně použití miniaturních součástek dává možnost měřit na reálných objektech bez velkých konstrukčních úprav.

Vlastnostem takto vytvořené měřicí soustavy bylo nutné přizpůsobit i sledované kvalitativní charakteristiky, podle nichž se hodnocení toku vláken provádí. Hodnocení je převážně založeno na měření časových intervalů - délek. Způsob zjišťování některých z těchto charakteristik spolu s dalšími aplikacemi bude blíže popsán.

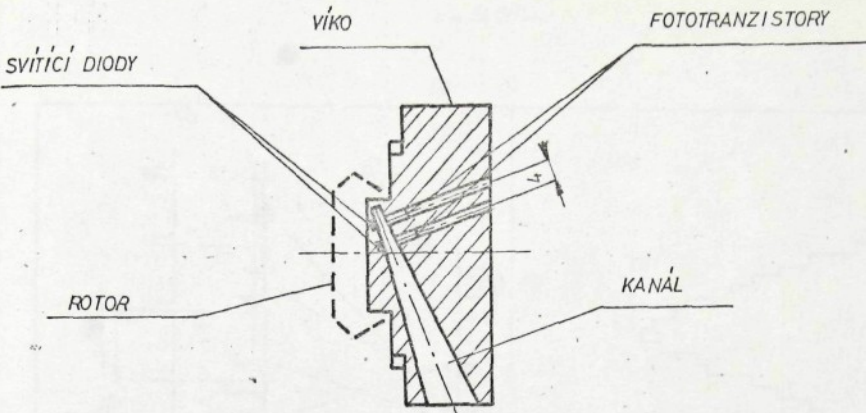
2.6.3.1 Rychlost toku vláken

Střední rychlost vláken je základní charakteristikou, proto i první aplikace se zaměřuje na její zjištění. Umístěním dvou světelných hradel v dané vzdálenosti na dopravní cestě je možné zjišťovat dobu, kterou potřebují vlákna k jejímu průchodu. Měření časového intervalu mezi průchodem prvním a druhým hradlem se provádí buďto pomocí vzájemné korelace /18/, založené na podobnosti signálů obou hradel, kdy z polohy maxima vzájemné korelační funkce se dá určit hledaný čas, nebo vyhodnocením časového rozdílu mezi charakteristickými znaky signálu např. z obrazovky paměťového osciloskopu nebo jiné formy záznamu signálu obou hradel. Příklad uspořádání takové měřicí soustavy je na obr. 5, 6.

Uvedená metoda předpokládá, že vzdálenost optických os obou hradel je tak malá, že na této dráze nedojde k zásadní změně uspořádání vláken a tím zůstane zachována tvarová podobnost korelovaných signálů. V závislosti na použitých fotoelektrických prvcích se tato vzdálenost pohybuje od 4 do 10 mm. Pokud by shora uvedená podmínka nebyla splněna, maximum korelační funkce vyjde ploché a měření je nepřesné.

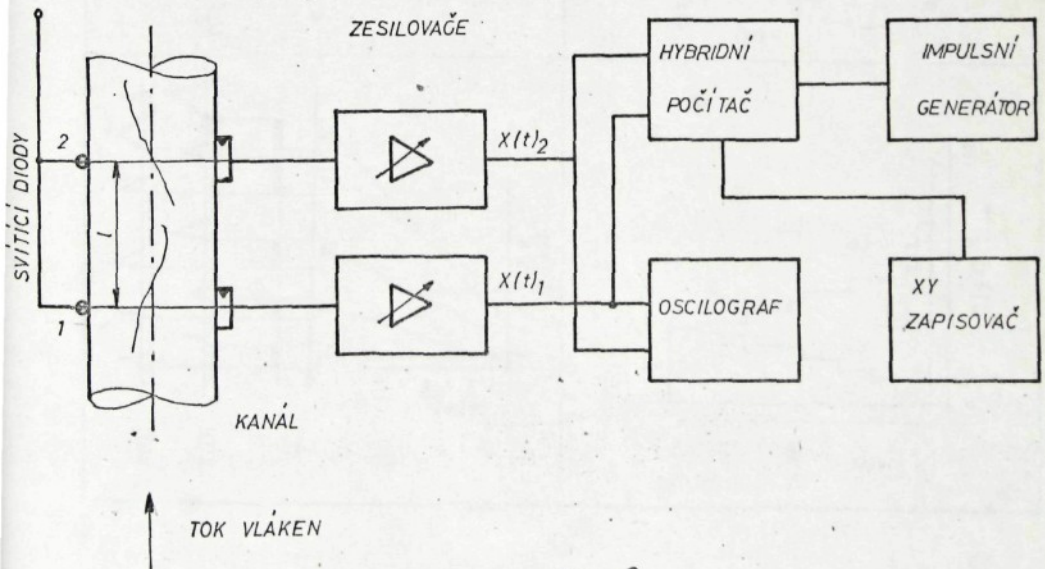
2.6.3.2 Měření stupně ojednocení vláken

Měřicí metoda je založena na šířkové analýze signálu získaného z fotoelektrického hradla, viz obr. 7a, b. Vychází se z předpokladu, že jednotlivá vlákna vyvolají krátké ostré impulsy, zatímco shluky vláken způsobí impulsy podstatně delší. Vzájemným porovnáním rozložení četnosti, podle délek impulsů mezi jednotlivými případy můžeme odlišit stupeň ojednocení.

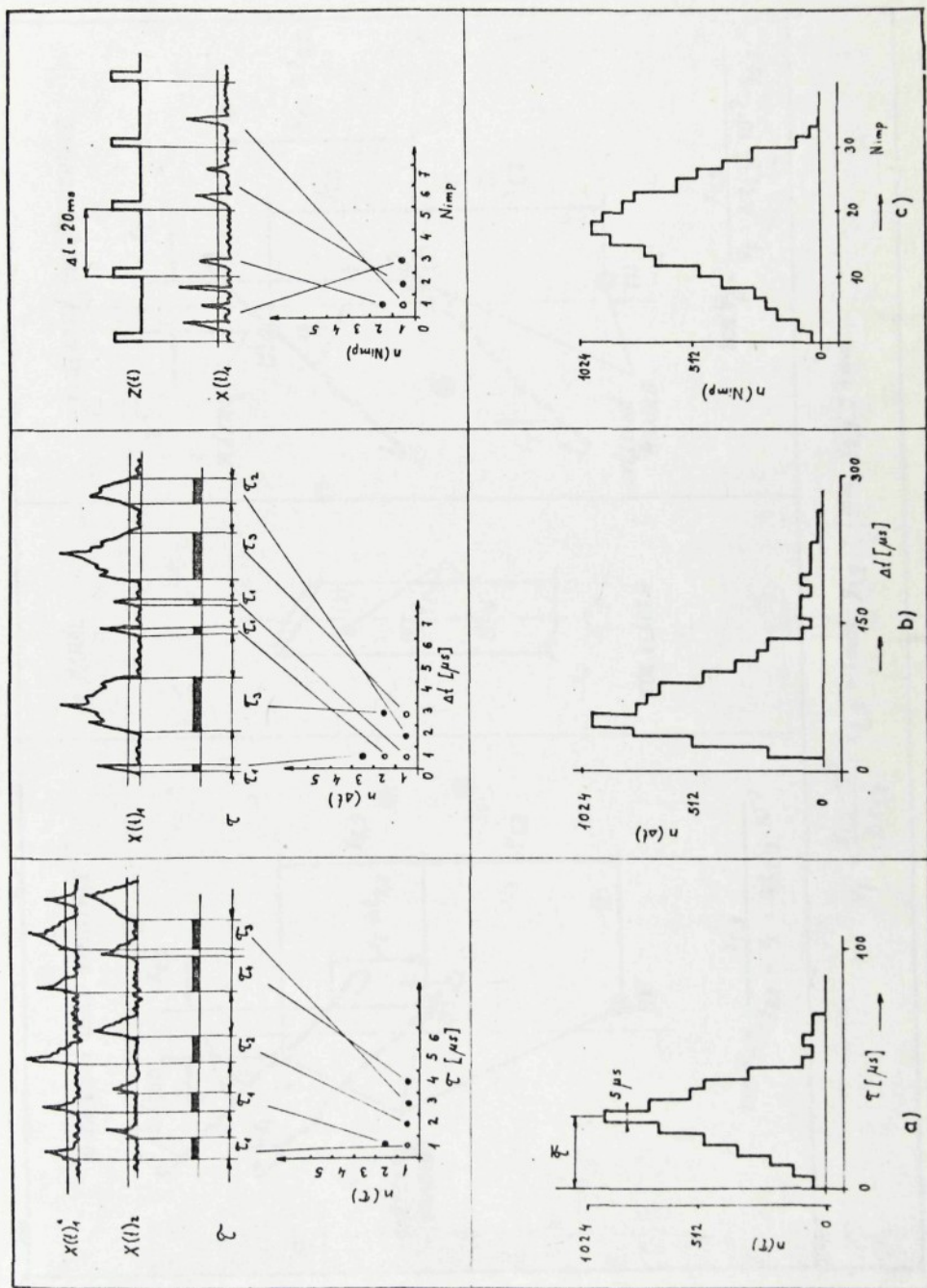


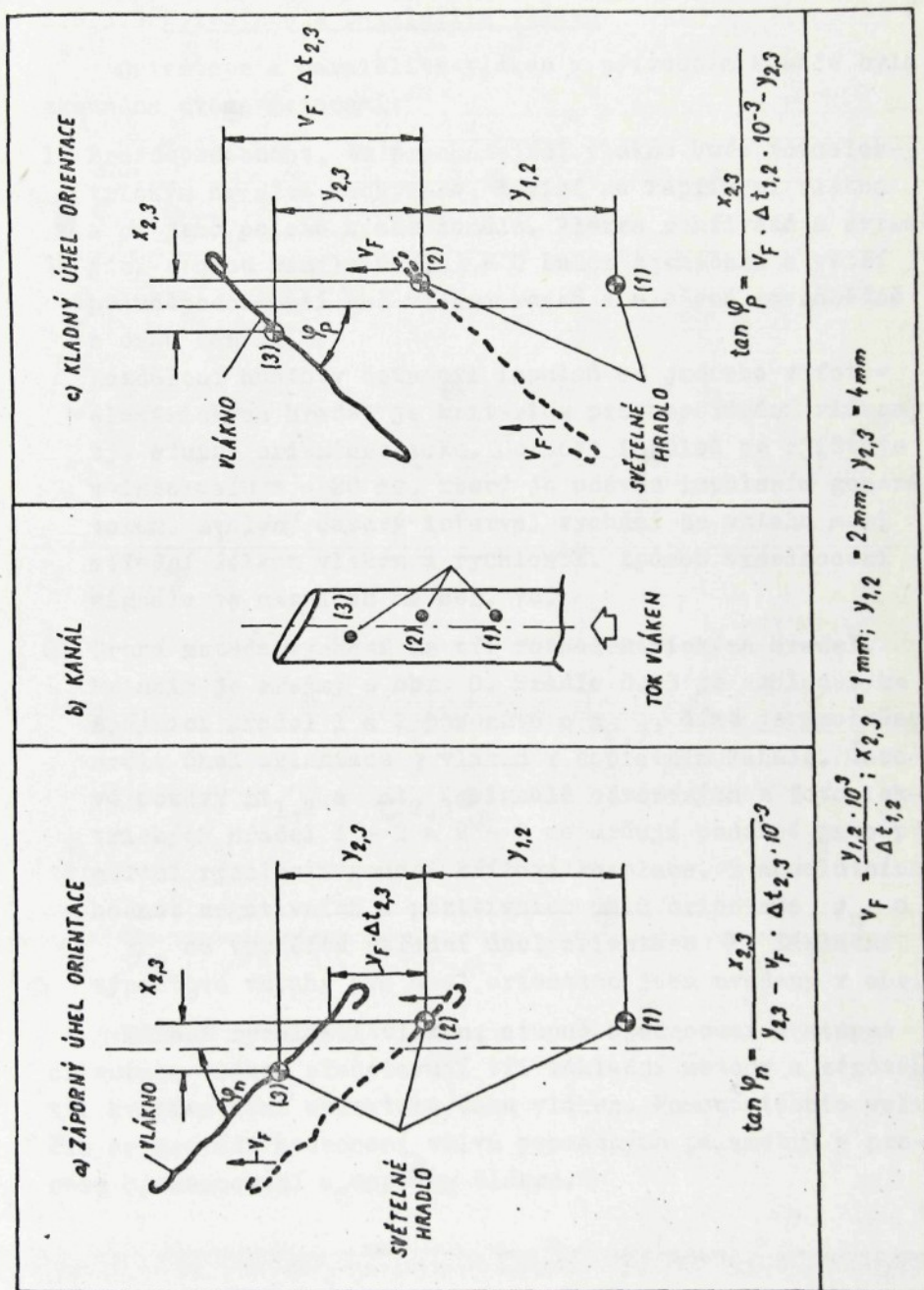
Obr. 5

BLOKOVÉ SCHEMA ZAPOJENÍ MĚŘÍCÍ SOUPRAVY



Obr. 6





Obr. 8

2.6.3.3 Orientace a paralelita vláken

Orientace a paralelita vláken v přírodním kanále byla zkoumána dvěma metodami:

1. Pravděpodobnost, že procházející vlákno bude fotoelektrickým hradlem zachyceno, závisí na napřímění vlákna a na jeho poloze k ose kanálu. Vlákná pokřivená a svírající s osou kanálu úhel $\varphi \neq 0$ budou zachycena s větší pravděpodobností než vlákna rovná a uložená rovnoběžně s osou kanálu.

Rozdělení hustoty četnosti impulsů od jednoho z fotoelektrických hradel je kritériem pro uspořádání vláken, tj. stupně orientace toku. Četnost impulsů se zjišťuje v intervalu $t = 20$ ms, který je udáván impulsním generátorem. Zvolený časový interval vychází ze vztahu mezi střední délkou vláken a rychlostí. Způsob vyhodnocení signálu je naznačen na obr. 7c.

2. Druhá metoda vychází ze tří fotoelektrických hradel. Princip je zřejmý z obr. 8. Hradlo č. 3 je vzhledem ke spojnici hradel 1 a 2 posunuto o $x_{2,3}$, čímž je umožněno určit úhel orientace φ vláken v dopravním kanále. Časové posuvy $\Delta t_{1,2}$ a $\Delta t_{2,3}$ signálů odvozených z fotoelektrických hradel 1 - 2 a 2 - 3 se určují podobně jako při měření rychlostí pomocí křížové korelace. Z absolutních hodnot negativních a pozitivních úhlů orientace φ_n a φ_p se vypočítá střední úhel orientace $\bar{\varphi}$. Základní výpočtové vztahy pro úhel orientace jsou uvedeny v obr. 8.

Měření rychlostí vláken, stupně ojednocení a stupně orientace vláken představují tři základní metody a zároveň tři kvalitativní ukazatele toku vláken. Pomocí těchto veličin se provádí hodnocení vlivu proměnných parametrů v procesu ojednocování a dopravy vláken.

2.6.3.4 Další aplikace popsané měřicí metody na spřádací jednotce

Za účelem dalšího poznání procesu ojednocování byla na spřádací jednotce umístěna řada fotoelektrických čidel, pomocí nichž byl sledován průchod materiálu v závislosti na parametrech předení. Způsob použití fotoelektrických čidel a dosažené výsledky jsou uvedeny v práci /3/.

V této části je uveden pouze stručný přehled využití shora popsané měřicí metody a techniky.

a) Měření rozdělení toku vláken v průřezu kanálu

Uspořádání měřicích míst pro zjišťování rozdělení toku vláken v průřezu kanálu ukazuje obr. 9. Z průběhu relativní četnosti hustoty impulsů lze usuzovat, je-li rozdělení vláken v průřezu kanálu centrické nebo excentrické.

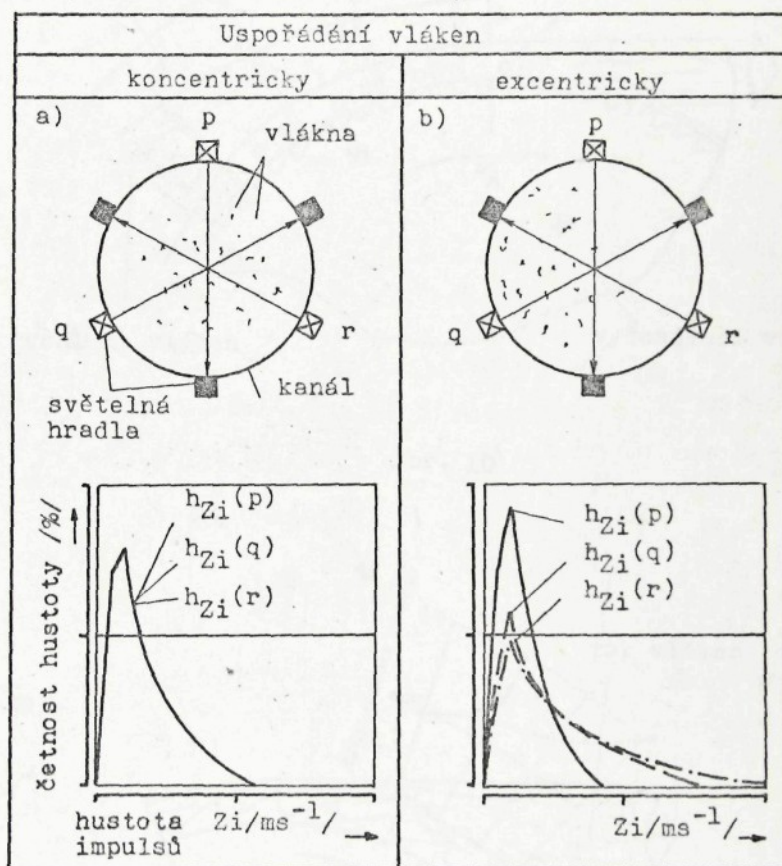
b) Měření rychlosti vláken v oblasti rozvolňovacího systému

Z hlediska poznání mechanismu rozvolňování transportu vláken je důležitá znalost rychlosti vláken v oblasti mezi potahem vyčesávacího válce a stěnou dutiny tělesa ojednocovacího ústrojí a v místě výstupu z potahu vyčesávacího válce. Obr. 10 ukazuje umístění fotoelektrických hradel pro sledování rychlostních poměrů v této oblasti.

c) Měření v oblasti snímání vláken

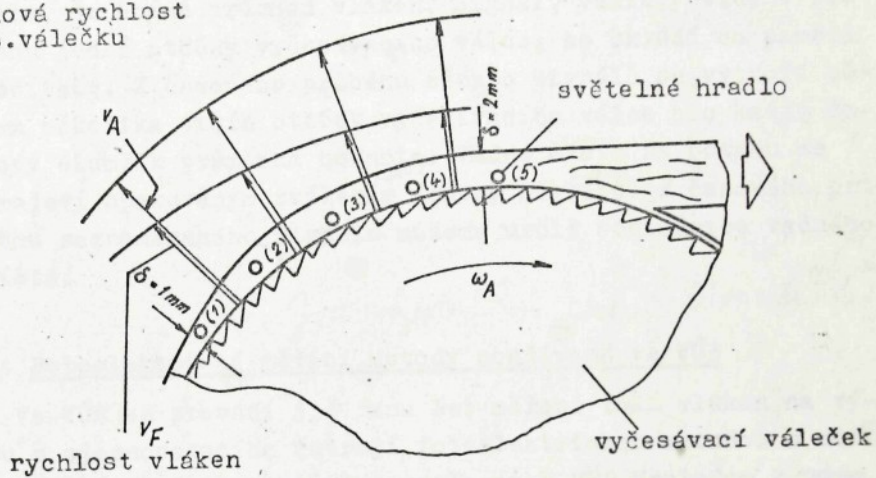
V tomto případě byla zjišťována hustota impulsů v měřicích bodech umístěných podle obr. 11. Průběh relativní hustoty impulsů ukazuje na rozložení vláken ve sledované oblasti. Rovněž lze ze signálu z fotoelektrických hradel, umístěných v této oblasti, sledovat výskyt periodické složky v dodávce.

Měřicí princip ke zkoumání rozdělení toku vláken v průřezu kanálu

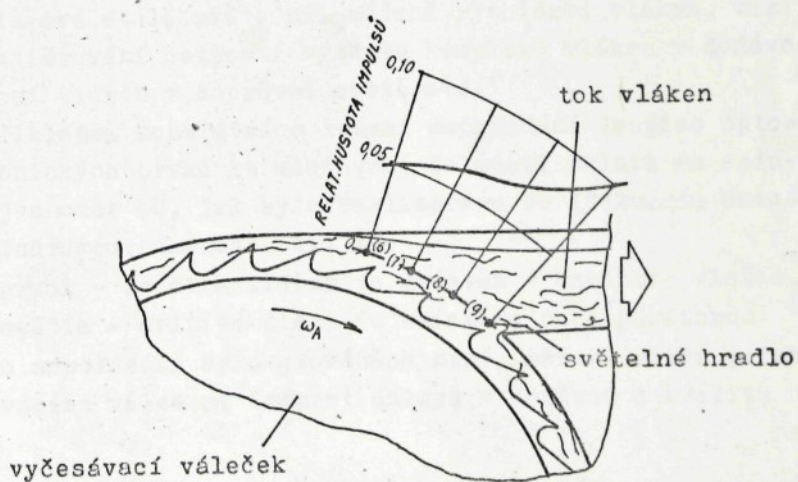


obr. 9

obvodová rychlost
vyčes.válečku



obr. 10



obr. 11

d) Zjišťování polohy vadného místa na potahu vyčesávacího válce

Pomocí fotoelektrického hradla, umístěného v dopravním kanále, se snímá průchod vláken. Signál, vzniklý vždy v průběhu jedné otáčky vyčesávacího válce, se ukládá do paměti počítače. Z časového průběhu těchto signálů se vytvoří během několika tisíc otáček vyčesávacího válce pro každý časový okamžik průměrná hodnota. Vadné místo na potahu se projeví opakovaným zvýšením úrovně signálu. Z časového průběhu zaznamenaného signálu můžeme určit souřadnice vadného místa.

Jon výsledku Jonu Disertace

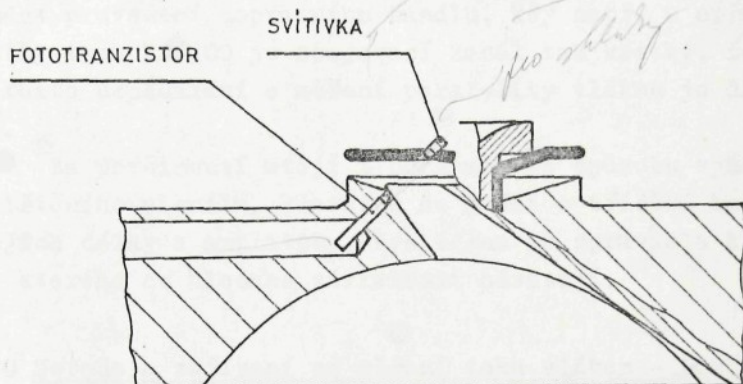
2.6.4 Fotoelektrické měřicí metody používané ve VÚB

Ve VÚB se provádí již řadu let měření toku vláken na výstupu z ojednocovacího ústrojí fotoelektrickou metodou s měřicí sondou speciální konstrukce, označenou FOMED. Vzhledem k tomu, že konstrukce snímače představuje originální řešení, jehož původcem je autor disertace, bude této úroblematice věnována samostatná kapitola.

Také použití optoelektronických miniaturních prvků má dnes již své stálé místo při měření rychlosti vláken, viz /18/, zjišťování četnosti výskytu komplexů vláken v dodávce, rozložení vláken v dopravní cestě atd.

Příkladem konkrétního řešení uspořádání dvojice optoelektronických prvků ke sledování četnosti shluků na spřádací jednotce CU, jak bylo realizováno ve Výzkumném ústavu bavlnářském, ukazuje obr. 12.

Jeden prvek - fototranzistor je umístěn v kanálové vložce, zdroj světla - svítivá dioda je umístěna na separátoru. V tomto uspořádání bylo prováděno např. měření vlivu potahu vyčesávacího válce na četnost shluků v dodávce a kvalitu příze.



Obr. 12

2.6.5 Zhodnocení měřicích metod

Stručný přehled experimentálních metod používaných při studiu chování vláken v procesu ojednocování ukázal přednosti i nedostatky té které metody. Cílem bylo též ukázat, že měření charakteristik toku vláken představuje určité specifikum spojené s řadou obtíží souvisejících s vlastní realizací měřicích metod na reálných objektech. Chceme sledovat velmi jemné toky, až na jednotlivá vlákna, pohybující se vysokou rychlostí. Přitom musíme respektovat technologické podmínky, zejména vzduchový režim. Značnou komplikaci představuje výskyt prachu tvořeného z krátkých vláken nebo aviváže a jiných prachových částic. Uvedené potíže lze považovat za jednu z příčin poměrně malého počtu publikací k dané problematice.

Rovněž při přebírání metod z jiných pracovišť je nutné postupovat diferencovaně s přihlédnutím k odlišnostem spřádací

jednotky československé a zahraniční výroby. Týká se to zejména provedení dopravního kanálu, kdy např. u spřádací jednotky typu BD 200 je spojovací kanál tak krátký, že mluvit v tomto uspořádání o měření paralelity vláken je diskutabilní.

Za povšimnutí stojí i poznámka ke způsobu vyhodnocování zjištěného signálu. Převážně se jedná o třídění impulsů podle jejich délky a amplitudy. Výsledkem je zpravidla histogram, ze kterého se hledané závislosti odvozují.

3.0 Metoda a zařízení na měření toku vláken - FOMED

Z analýzy problematiky procesu ojednocování uvedené v předchozích kapitolách vyplynulo, že pro další a hlubší poznání vnitřních procesů, které probíhají ve spřádací jednotce, je nutné hledat a vytvářet odpovídající prostředky a metody, jak tyto procesy měřit, kvantifikovat a optimalizovat.

Tento cíl sleduje i předložená disertace. V souladu s potřebami výzkumu rotorové spřádací jednotky vznikl požadavek navrhnout metodu a realizovat zařízení, které by umožnilo měřit vlákenný tok na výstupu z ojednocovacího ústrojí. Tímto záměrem se sledovalo jednak oddělení vlivů působících v ojednocovacím ústrojí od vlivů, které se uplatňují v ústrojí pro udílení zákrutu, dále na základě charakteristik toku vláken tento popsat a stanovit obecné tendence a vytvořit podmínky pro optimalizaci technologického procesu. Prvá fáze tedy představovala navrhnout metodu a vhodný snímač, aby bylo možné registrovat velmi jemný diskrétní tok vláken nesených proudem vzduchu rychlostí několika desítek metrů za sekundu.

3.1 Výběr měřicí metody

Známymi principy měření jemnosti vlákenných útvarů jsou metody mechanické, pneumatické, kapacitní, fotoelektrické

0 0 0 (ans)

a radioizotopové. První dvě nepřipadaly v úvahu z praktických důvodů. Použití radionuklidů vyžaduje vybudování speciálního pracoviště, kromě toho neodpovídá u této metody též požadovaná rozlišovací schopnost. Pozornost byla věnována metodám elektrickým. V případě kapacitní metody se rozbor ukázalo, že v daném případě nelze zaručit potřebné zaplnění prostoru mezi elektrodami měřicího kondenzátoru. Změny kapacity způsobené vlákny jsou v oblasti 10^{-6} pF, což by vyžadovalo měření na velmi vysokých frekvencích, asi 100 MHz. Při tak vysokém kmitočtu jsou již potíže se stabilitou a rušením.

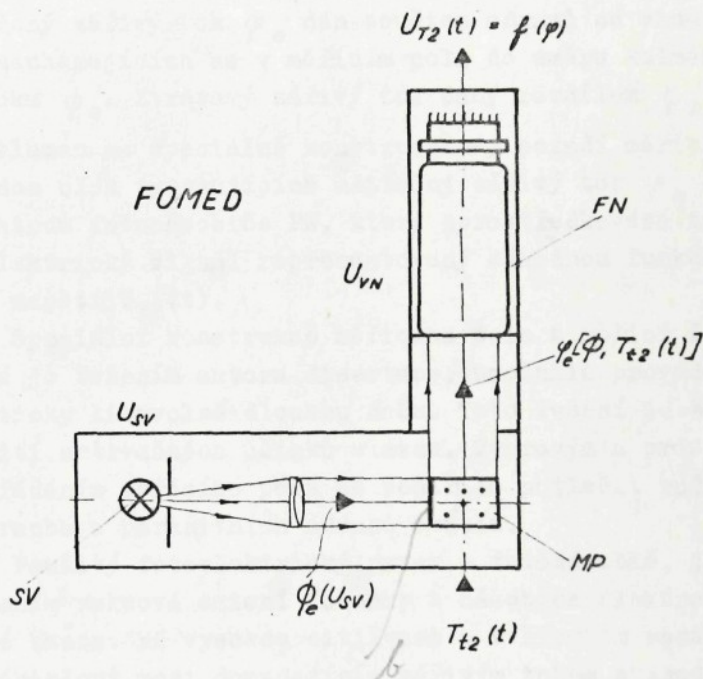
Uvažovalo se i o možnosti využití mikrovlnné techniky, vlastností dutinového rezonátoru. Ani tento způsob není pro náš případ vhodný, kromě jiného z prostorových důvodů.

Z průzkumové etapy na základě studia jednotlivých principů a experimentů vyšla jako nejvhodnější metoda fotoelektrická. Nyní zbývalo rozhodnout jaký typ fotoelektrického převodníku použít a jaký zvolit pracovní režim, zda-li v odraženém nebo procházejícím světle. S přihlédnutím ke geometrickým rozměrům dopravního kanálu, které u spřádací jednotky typ BD 200 činí 18 x 3 mm, dále z důvodů nízkých světelných toků a rozložení vláken v kanále byl vybrán jako snímač fotonásobič. Vysoká citlivost, kterou fotonásobič disponuje (10 - 100 A/lm) přispěla i ke zjednodušení následných elektrických obvodů ve srovnání s použitím prvků polovodičových.

3.2 Princip získání fotoelektrického obrazu toku vláken

Princip získání fotoelektrického obrazu toku vláken je schematicky znázorněn na obr. 13. Délková náhodná funkce jemnosti dodávky vláken $T_{t2}(x)$ se transformuje vztahem $x = v_2 \cdot t$ na časovou náhodnou funkci jemnosti $T_{t2}(t)$. Obrazně řečeno, tato funkce prochází měřicím polem MP o délce měřicí šterbiny b (neznázorněno). Touto šterbinou je přiváděn do měřicího pole svazek rovnoběžných světelných paprsků ze zdroje

světla SV napájeného stabilizovaným napětím U_{SV} . Tak vstupuje do měřicího pole kolmo na směr pohybu vláken zářivý tok Φ_e (výkon), závislý na napětí zdroje U_{SV} , přičemž hustota zářivého toku je v průřezu vymezeném šířkou a délkou štěrby rovnoměrná.



Obr. 13

Osvětlená vlákna, která se v daném okamžiku nachází v měřicím poli se stávají nevlastními zdroji světla. Jas nevlastních zdrojů závisí na osvětlení, na směru, v němž se příslušná část povrchu pozoruje a na jeho fyzikální podstatě. Při dopadu světla na povrch nevlastního zdroje (vlákna) se část zářivého toku pohlcuje nebo propouští a zbytek se odráží. Při dostatečné vzdálenosti fotoelementu od měřicího pole můžeme považovat elementární délku

každého vlákna za bodový světelný nevlastní zdroj. Bavlněné vlákno se jeví z hlediska šroubovitého a zbrázděného povrchu tvořeného šroubovitými brázdičkami a žlábků ve sklonu 30° k ose vlákna, jako velmi vhodný objekt, u něhož získaná energie odrazem není příliš ovlivněna polohou vlákna v měřicím poli, ale je závislá na jeho povrchu. Podle zákona adice je odražený zářivý tok φ_e dán součtem odrazů od elementů vláken nacházejících se v měřicím poli do směru kolmého ke směru toku Φ_e . Ztrátový zářivý tok daný rozdílem $\Phi_z = \Phi_e - \varphi_e$, je utlumen na speciálně konstruovaném pozadí měřicího pole a řadou clon vymezujících užitečný zářivý tok φ_e dopadající na katodu fotonásobiče FN, který zprostředkovává transformaci na elektrický signál reprezentovaný náhodnou funkcí elektrického napětí $U_{T2}(t)$.

Speciální konstrukce měřicího pole s měřicí šterbinou, která je řešením autora disertace, umožnila provádět měření prakticky libovolně dlouhou dobu. Toto řešení je založeno na využití setrvačných účinků vláken. Tvarovým a prostorovým uspořádáním měřicího pole se podařilo potlačit rušivé účinky prachu a parazitních odrazů světla.

Použitý fotoelektrický prvek - fotonásobič, je tvořen spojením vakuové emisní fotonky a násobiče elektronů ve společné baňce. Má vysokou citlivost a v širokém rozsahu lineární závislost mezi dopadajícím zářivým tokem a anodovým proudem při světelném toku v rozsahu 10^{-13} až 10^{-4} lm. Představuje dále vysoce kvalitní zesilovač se ziskem 10^5 až 10^7 a díky tomu nejsou kladeny vysoké požadavky na navazující elektrické obvody. Fotonásobič však klade vysoké nároky na stabilitu vysokého napájecího napětí U_{VN} . Zesílení fotonásobiče je dáno napájecím napětím a jeho stabilita je závislá na stabilitě U_{VN} . Tuto závislost lze vyjádřit vztahem

$$\frac{dA}{A} = n \frac{dU_{VN}}{U_{VN}}$$

kde

A zesílení

n počet dynod fotonásobiče

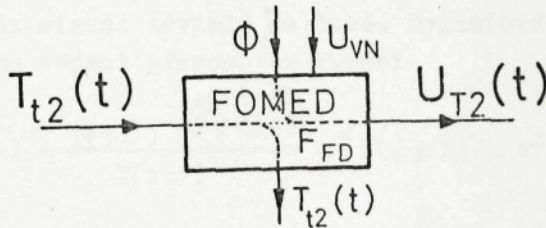
U_{VN} napájecí vysoké napětí

Z toho plyne, že změna napětí U_{VN} o 1 % způsobí změnu zesílení fotonásobiče o 10 % v případě, že pracujeme s fotonásobičem o deseti dynodách.

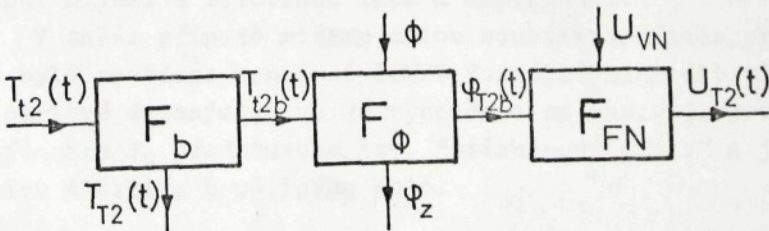
3.3 Fyzikální model a přenosová funkce snímače

Z hlediska měřicího kanálu lze považovat snímač za primární zdroj informace. Nositelem informace je signál. Tímto nositelem může být libovolná fyzikální veličina.

Obecně je možno každý snímač definovat jako zařízení na zpracování informace vázané na nějaký druh energie.



Obr. 14



Obr. 15

V průběhu měření dochází k toku informace o měřené veličině a k toku energie jednotlivými konstrukčními částmi snímače v závislosti na použitém principu a konstrukčním řešení snímače. Tok energie snímačem můžeme znázornit na tzv. fyzikálním modelu snímače, viz obr. 14.

U snímače nás zajímá závislost mezi vstupní a výstupní veličinou. Tento vztah bez uvažování parazitních vlivů můžeme psát ve tvaru

$$y = (a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n) x \quad (28)$$

kde

x vstupní veličina
 y výstupní veličina
 $a_0, a_1, \dots, a_n$... konstanty

Pro lineární závislost, kterou zpravidla vyžadujeme, musí platit

$$y = a_0 x \quad (29)$$

Jestliže měřená veličina je funkcí času, pak ze snímače dostáváme též signál závislý na čase. Dynamické vlastnosti snímače lze popsat přenosovou funkcí

$$F(j\omega) = \frac{Y(j\omega) e^{j\varphi(\omega)}}{X(j\omega)} = |F(j\omega)| \cdot e^{j\varphi(\omega)} \quad (30)$$

$X(j\omega)$ charakterizuje vstupní signál a $Y(j\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}$ výstupní signál s rozdílnou fází a amplitudou.

V našem případě můžeme celou soustavu snímače, pro kterou bylo zavedeno označení FOMED, formálně nahradit třemi členy sériově řazenými, jak je vyznačeno na obr. 15. První člen s přenosem F_b představuje tzv. "šterbinový efekt" a je určen délkou šterbiny b měřicího pole.

$$|F_b(j\omega)| = \left| \frac{\sin \frac{\omega b}{2}}{\frac{\omega b}{2}} \right| \quad (31)$$

Druhý člen představuje proces odrazu zářivého toku světla od vlákna v měřicím poli a má přenos F_ϕ . Třetím členem je fotonásobič s přenosem F_{FN} . Celkový přenos měřicího systému FOMED je tedy dán vztahem

$$F_{FD} = F_b \cdot F_\phi \cdot F_{FN} = K_{FD} \cdot F_b \quad (32)$$

kde K_{FD} je konstanta FOMED závislá na použitém pracovním režimu zařízení daném úrovní napájecího napětí, světelným zdrojem a použitým fotonásobičem.

Konstantu K_{FD} lze určit jako činitel zesílení systému FOMED podle vztahu

$$U_{T2} = |F_{FD}(0)| \cdot \bar{T}_{t2} \quad (33)$$

$$|F_{FD}(0)| = K_{FD} \quad (34)$$

3.4 Fotoelektrický obraz pohybujících se vláken

Každé měřicí zařízení poskytuje jistou informaci o měřeném objektu a dává tak jeho obraz. Tento obraz je podle dokonalosti zařízení více či méně zkreslen oproti originálu. Vztah originálu a obrazu určuje přenosová funkce systému. U měřicích zařízení, která zjišťují vlastnosti přírodních látek, jakými jsou např. textilní vlákna, je prakticky nemožné aplikovat exaktní metody určení přenosu, s kterými se pracuje v technice regulačních obvodů, neboť nelze připravit např. sinusový průběh jemnosti diskrétního toku vláken. Z uvedených důvodů bylo nutné hledat takové formy ověření vztahu fotoelektrického obrazu vláken a originálu, které lze v definovaných podmínkách realizovat a reprodukovat.

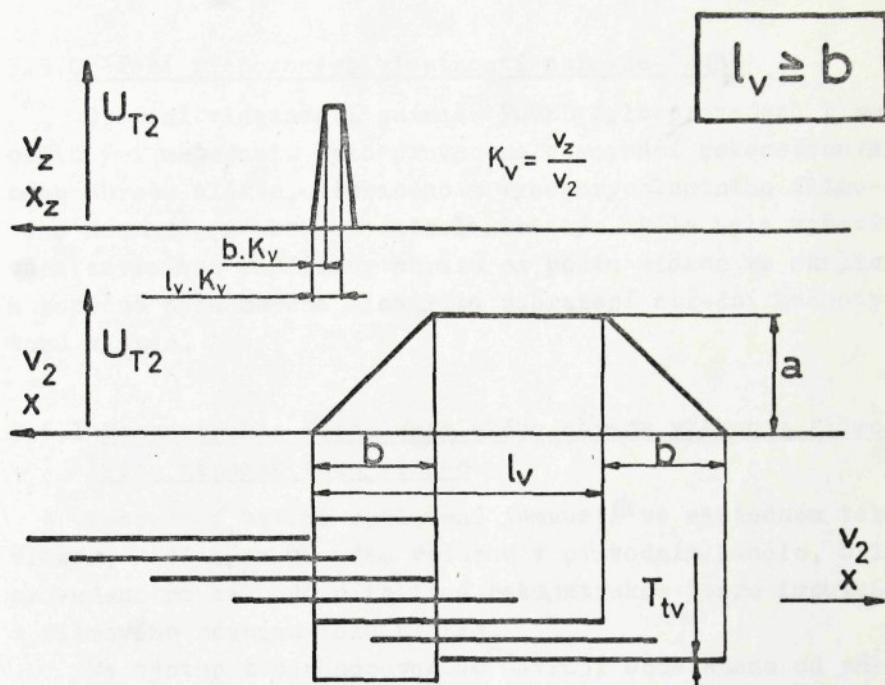
Abychom si mohli učinit představu o tom, jak daný měřicí systém zobrazí vlákno, byl modelován obraz ideálního vlákna o konstantní jemnosti T_{tv} pro tři případy délky vlákna l_v vzhledem k délce měřicí šterbiny b .

- a) $l_v > b$ zobrazení je znázorněno na obr. 16a. Obrazem vlákna je lichoběžníkový impuls se střední příčkou l_v a výškou úměrnou jemnosti T_{tv} . Z obrázku je patrný lineární nárůst amplitudy čela impulsu a lineární pokles sestupné části impulsu. Tyto úseky jsou závislé na délce štěrby a odpovídají časovému intervalu, ve kterém dojde k překrytí měřicí štěrby. Je zřejmé, že čím bude menší délka štěrby b ve vztahu k délce vlákna, tím lépe se podaří vystihnout rozložení jemnosti vlákna nebo skupiny vláken. Plochu impulsu je možné považovat za úměrnou hmotnosti vlákna.
- b) V případě $l_v = b$ bude mít impuls tvar trojúhelníka o základně $2b$.
- c) Nastane-li případ, že $l_v < b$, pak obrazem je opět lichoběžníkový impuls, obr. 16 b, jehož střední příčka je b a výška a' je ve srovnání s výškou impulsu pro vlákno $l_v > b$ menší.

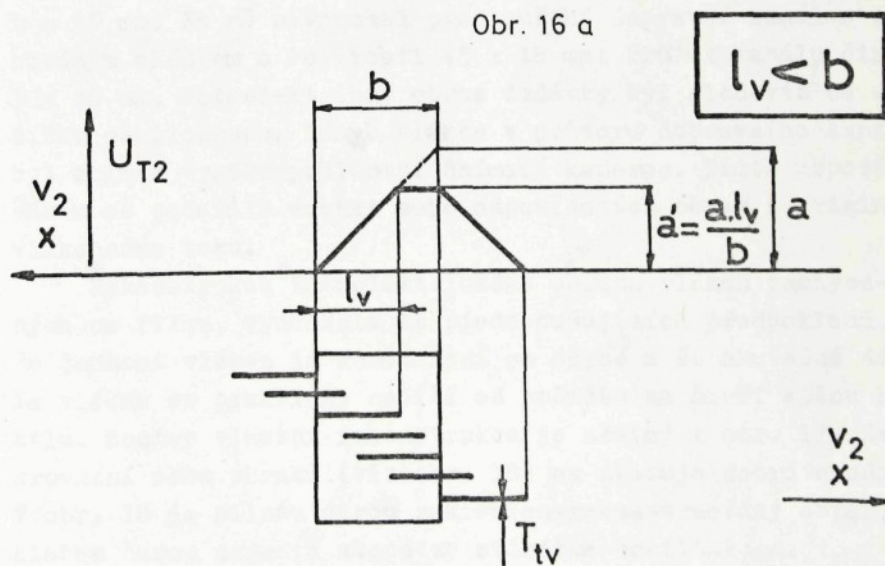
$$a' = \frac{l_v}{b} \cdot a \quad (35)$$

Uvedená zobrazení je třeba považovat za idealizovaná, kde se mimo jiné předpokládá stejná rychlost záznamového media, jako je rychlost vláken. V praxi je to možné jen na obrazovce osciloskopu.

Z uvedeného geometrického vytvoření obrazového impulsu plyne, že v případě vlákna (skupiny vláken) delších než je délka štěrby b měřicího pole, je výška impulsu úměrná jemnosti vlákna (nebo skupiny). V případě $l_v < b$ je zkreslení výšky impulsu nepřímo úměrné délce vlákna. Snahou tedy je, aby snímač pracoval s dostatečnou citlivostí při co nejmenší měřicí délce b . Např. použijeme-li čidlo s délkou štěrby $b = 5$ mm, pak může dojít v závislosti na tvaru staplu ke zkreslení u méně než 7 % vláken.



Obr. 16 a



Obr. 16 b

3.5 Ověření přenosových vlastností snímače FOMED

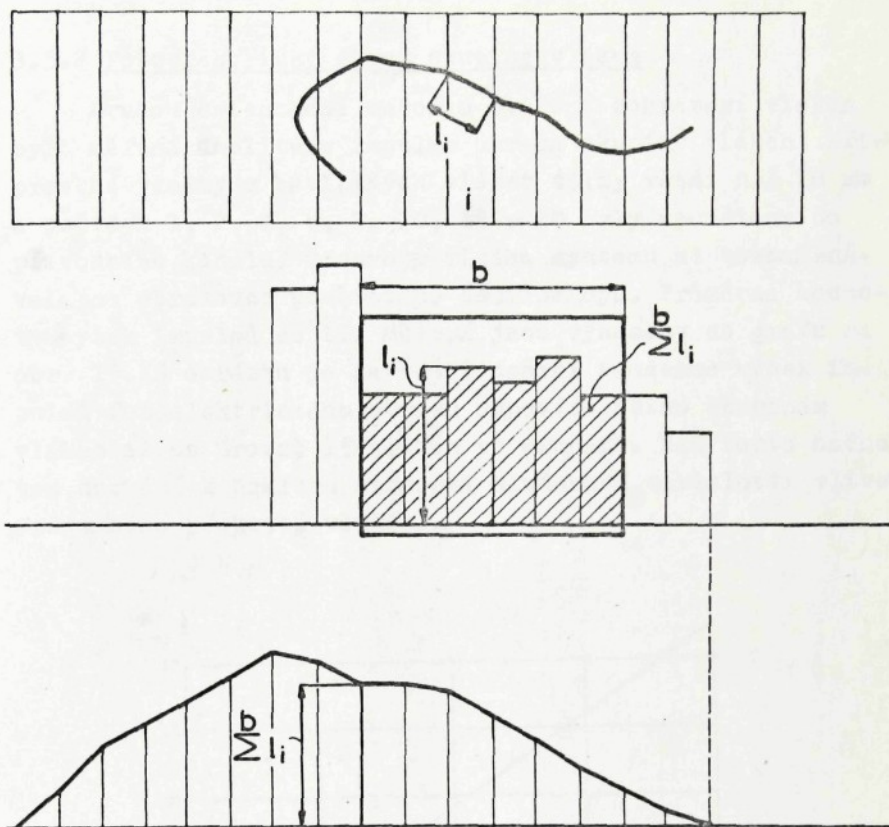
Ověření vlastností snímače FOMED bylo provedeno třemi odlišnými metodami. Bylo provedeno porovnání rekonstruovaného obrazu vláken, získaného z vysokorychlostního filmového záznamu, s obrazem fotoelektrickým. Dále byla vyšetřována závislost amplitudy obrazu na počtu vláken ve skupině a konečně byla měřena linearita zobrazení střední hodnoty toku vláken.

3.5.1 Rekonstrukce fotoelektrického obrazu vláken z filmového záznamu toku vláken

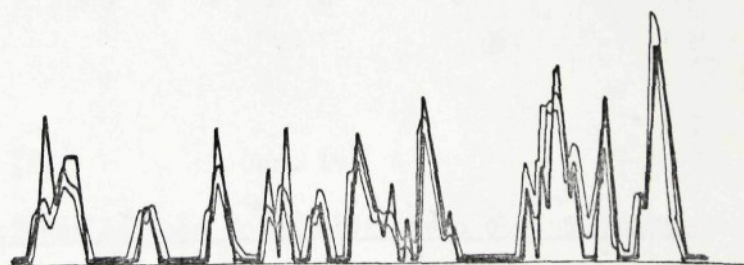
Posouzení vztahu rozložení jemnosti ve skutečném toku vláken, unášených proudem vzduchu v přívodním kanále, bylo provedeno na základě přibližné rekonstrukce tvaru impulsů z filmového záznamu toku vláken.

Na výstup z ojednocovacího ústrojí odděleného od zákrutového orgánu, bylo zařazeno čidlo FOMED s měřicí délkou $b = 10$ mm. Na ně navazoval prodloužený dopravní kanál s průhledným okénkem o velikosti 45 x 18 mm. Průřez kanálu činil 3 x 18 mm. Fotoelektrický obraz dodávky byl sledován na stínítku osciloskopu. Pohyb vláken v průzoru dopravního kanálu byl snímán vysokorychlostní snímací kamerou. Tímto uspořádáním se podařilo získat sobě odpovídající obraz i originál vláknenného toku.

Rekonstrukce fotoelektrického obrazu vláken zachycených na filmu, vycházela ze zjednodušujících předpokladů, že jemnost vláken je konstantní po délce a že skutečná délka vlákna se prakticky neliší od průmětu na širší stěnu kanálu. Postup vlastní rekonstrukce je zřejmý z obr. 17. Ze srovnání obou obrazů (viz obr. 18) se ukazuje dobrá shoda. V obr. 18 je silnou čarou zakreslen rekonstruovaný obraz, slabou čarou sejmutá stopa ze stínítka osciloskopu.



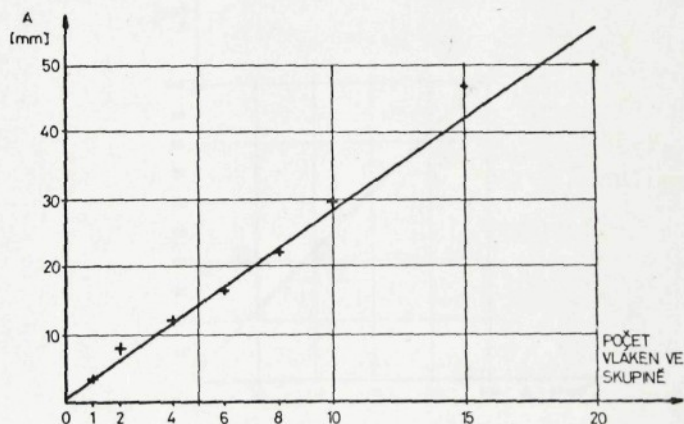
Obr. 17



Obr. 18

3.5.2 Fotoelektrický obraz skupiny vláken

Druhou orientační metodou ověření zobrazení vláken bylo měření amplitudy impulsu obrazu skupiny vláken. Připravené vzorky z bavlněných vláken délky větší než 18 mm a počtech 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15 a 20 byly vpouštěny do přívodního kanálu. Odezva měřicího systému se zaznamenávala na obrazovce paměťového osciloskopu. Průměrné hodnoty výšek impulsů ze tří měření jsou vyneseny do grafu na obr. 19. Z obrázku je patrna lineární tendence výšek impulsů fotoelektrického obrazu odpovídajícího skupinám vláken až do úrovně 15 vláken ve skupině. Nad touto hodnotou dochází k poklesu strmosti sledované závislosti vlivem vzájemného překrytí vláken.

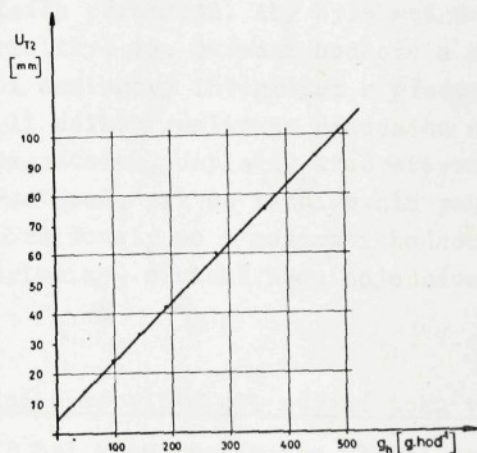


Obr. 19

3.5.3 Střední hodnota fotoelektrického obrazu dodávky

U zařízení FOMED-B byla zjišťována závislost střední hodnoty fotoelektrického obrazu na dodávce dané výrobností

spřádací jednotky v rozsahu 50 až 400 g.h⁻¹. Na ojednocovacím ústrojí typu BD 200 se pracovalo s otáčkami vyčesávacího válce $n_v = 8\,000\text{ min}^{-1}$ při objemovém průtoku vzduchu v dopravním kanále $Q = 1,9\text{ l.s}^{-1}$. Předkládán byl pramen o jemnosti 3,57 ktex, z bavlny RI/RII, 50/50 %. Změnou podávací rychlosti se měnilo procházející množství materiálu ojednocovacím ústrojím. Vždy pro nastavenou podávací rychlost byla měřena střední hodnota signálu $U_{T2}(g_h)$. Výsledky měření jsou na obr. 20. Ukazuje se, že tato závislost má v širokém rozsahu výrobnosti spřádacího místa lineární charakter.



Obr. 20

Uvedený průzkum vlastností transformace vlákno - signál, zprostředkovaný snímačem FOMED ukázal, že je zde dosaženo vysokého stupně přiřazení s lineární závislostí v širokém rozsahu. V jistém přiblížení lze tedy operovat s tímto

obrazem jako s náhodnou funkcí jemnosti diskrétního toku vláken v přívodním kanále. Vždy je však třeba respektovat, že jde o fotoelektrický obraz a ve speciálních případech je nutné zkoumat chování tohoto obrazu ve vztahu k originálu.

3.6 Technické prostředky pro zpracování signálu ze snímače

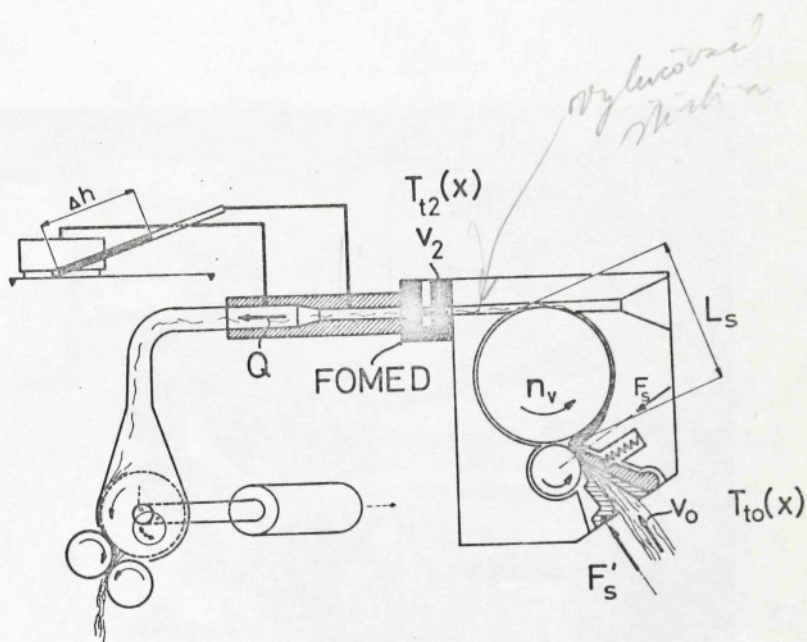
FOMED

V předchozích statích byla popsána funkce snímače a vyložena souvislost fotoelektrického obrazu dodávky s originálem. Tím byla splněna první část úkolu. V druhé fázi bylo třeba vytvořit prostředky pro zpracování signálu. Vzhledem k náhodnému charakteru signálu nebylo možné použít běžných měřicích přístrojů. Aby bylo možné měřit základní charakteristiky, tj. střední hodnota a rozptyl, byl vyvinut speciální analogový integrátor s předvolbou doby integrace, nebo-li délkou realizace náhodného signálu. Měřicí kanál s integrátorem, doplněný kvadrátorem, umožnil měřit rozptyl. Postupně, jak se rozšiřovalo používání této měřicí metody, rozšiřovaly se i možnosti hodnocení signálu o další charakteristiky, o nichž bude pojednávat zvláštní kapitola.

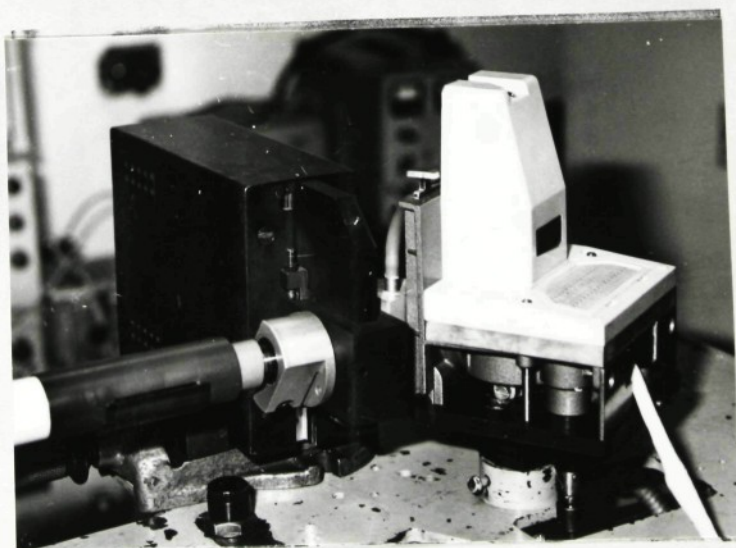
3.7 Experimentální pracoviště pro měření toku vláken

Snímač FOMED byl konstruován pro měření toku vláken na výstupu z izolovaného ojednocovacího ústrojí spřádací jednotky příslušného typu. Z toho vyplývá, že technologické podmínky ojednocování je nutné simulovat. To je důležité zejména při nastavování vzduchového režimu pomocí cizího zdroje podtlaku. Principiální uspořádání základní měřicí soustavy, včetně kontroly objemového průtoku vzduchu v dopravním kanále, je uvedeno na obr. 21.

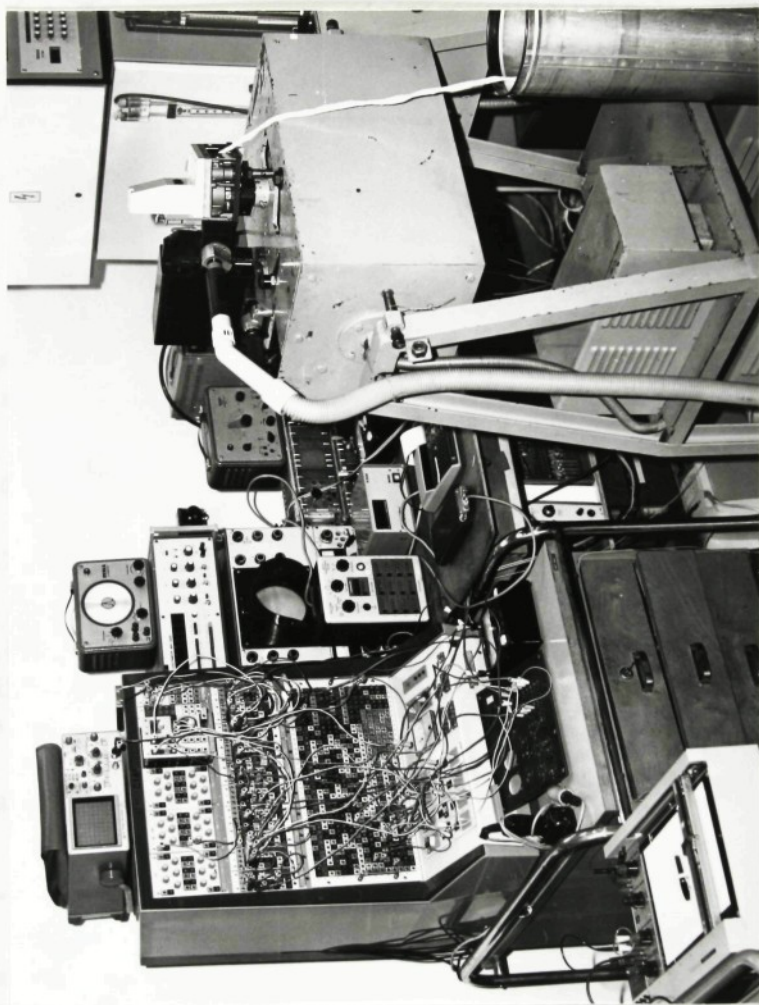
Detail soustavy snímač - ojednocovací ústrojí ukazuje obr. 22.



Obr. 21



Obr. 22



Обр. 23

Vlastní měření se prováděla na experimentálním modelu, který byl konstruován speciálně pro výzkumné účely. Na rámu modelu je upevněna skříň pohonů, na jejíž horní desce je upevněno těleso ojednocovacího ústrojí. Pomocí regulačních obvodů je možné plynule měnit otáčky vyčesávacího válce a podávací rychlost. Model včetně vyhodnocovacích přístrojů je na obr. 23. Obrázek zachycuje celé měřicí pracoviště. Analogový počítač MEDA 41 TC, který je vidět na obrázku, se používá pro úpravu signálu z fotonásobiče a jeho zpracování analogovou formou.

Na experimentálním pracovišti v konfiguraci podle obr. 23 se může provádět testování potahů vyčesávacích válců ve vazbě na zpracovávanou surovinu a ostatní technologické parametry.

4.0 Statistická analýza náhodného signálu

4.1 Náhodná funkce

Pojem náhodná funkce je zobecněním pojmu náhodná veličina v tom smyslu, že náhodná funkce je závislá na nenáhodném parametru. Pod pojmem náhodná funkce $X(t)$ chápeme funkci, jejíž hodnota při každé pevné hodnotě argumentu t je náhodná veličina. Konkrétní tvar, který získá náhodná funkce v průběhu pokusu se nazývá realizace náhodné funkce.

4.1.1 Druhy náhodných funkcí

Podle statistických vlastností dělíme náhodné procesy na stacionární a nestacionární. Proces, jehož statistické vlastnosti se v čase nemění je tzv. stacionární proces. Jestliže se s časem nemění žádná ze statistických vlastností náhodného procesu, které jsou vyjádřené momenty rozdělení pravděpodobností všech řádů, je stacionární v užším smyslu. Stacionární v užším smyslu jsou náhodné procesy,

jejichž střední hodnota a rozptyl jsou konstantní a autokorelační funkce závisí jen na časovém posuvu. V technické praxi pokládáme za stacionární náhodný proces, jehož statistické vlastnosti se nemění po dostatečně dlouhou dobu.

Významnou podskupinou stacionárních náhodných procesů jsou tzv. ergodické náhodné procesy. Vyznačují se tím, že střední hodnota funkce hodnot všech realizací v kterémkoliv okamžiku se rovná střední hodnotě v čase odpovídající funkce každé jednotlivé realizace. Tato vlastnost, zvaná ergodicita se kromě střední hodnoty týká též střední hodnoty druhých mocnin, autokorelační funkce ap. K určení vlastností ergodického náhodného procesu stačí jediná realizace. Což je vlastnost velmi důležitá z hlediska měření a analýzy.

Nestacionární náhodný proces je takový, jehož statistické vlastnosti se v čase mění. Touto skupinou náhodných procesů se zde nebudeme zabývat, poněvadž, jak bude ukázáno dále, předmětem analýzy prováděné v této práci jsou procesy stacionární.

Dále dělíme náhodné funkce na spojité a diskrétní. Může-li náhodná proměnná x nabývat spojitě všech možných hodnot, mluvíme o spojitém náhodném procesu. Může-li náhodná proměnná nabývat nespojitě jen určitých hodnot, jde o diskrétní náhodný proces.

Vzhledem k tomu, že studie se zabývá analýzou rozložení hmotnosti vláknenného materiálu po délce produktu, zavedeme označení této vlastnosti název funkce jemnosti produktu.

Definice: Funkce jemnosti produktu $T_t(x)$ je dána derivací hmotnosti na produktu podle jeho délky x

$$T_t(x) = \frac{dm}{dx} \quad (36)$$

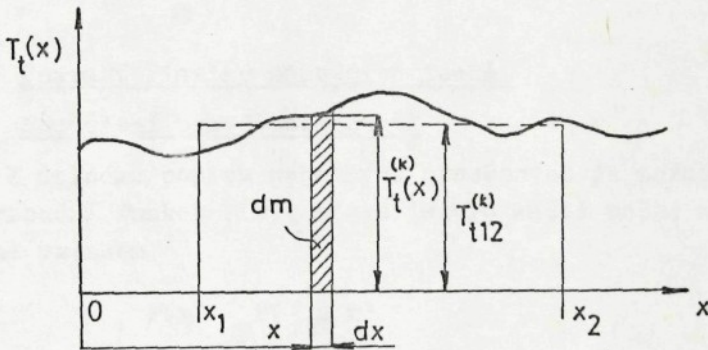
Graficky je tato definice ilustrována na obr. 24.

Hmotnost úseku produktu o elementární délce dx je dána plochou obdélníka

$$dm = T_t(x_1) \cdot dx \quad (37)$$

Hmotnost úseku produktu o délce $L = x_2 - x_1$ je dána integrálem

$$m_{12} = \int_{x_1}^{x_2} T_t(x) \cdot dx \quad (38)$$



Obr. 24

Funkce jemnosti produktu nebo též libovolného vláknenného útvaru tedy i toku vláken, je výsledkem určitého stavu zařízení, určitých podmínek provozu (strojních i klimatických) a určitých vlastností materiálu.

Tak, jak se ve skutečnosti tyto hodnoty mění, přísluší v čase každému stavu (produktu, poloproduktu, toku atd.)

materiálu jiná funkce jemnosti. Jelikož jsou změny podmínek zpracování i vlastnosti suroviny náhodné, je možné nejlépe popsat rozložení hmotnosti po délce jakéhokoliv útvaru pomocí náhodné funkce jemnosti.

Na studium přádelnických produktů a útvarů lze aplikovat teorii náhodných funkcí, podobně jako v jiných oborech, např. v elektrotechnice.

Určitý rozdíl zde existuje v tom, že funkce jemnosti má jako nezávisle proměnnou délku x , zatímco v ostatních oborech je nezávisle proměnnou převážně čas t . Proto bude nejprve pojednáno o teorii náhodných funkcí časových a na jejich základě pak převedeny potřebné vztahy a pojmy do teorie náhodné funkce jemnosti, chápané délkově.

4.1.2 Charakteristiky náhodných funkcí

Rozdělení pravděpodobnosti

K úplnému popisu náhodných proměnných je možno použít distribuční funkci $F(x)$, která je pro každé možné x definována vztahem

$$F(x) = P(\xi \leq x) \quad (39)$$

Distribuční funkce vyjadřuje tedy pravděpodobnost, že náhodná veličina ξ nabude hodnoty menší nebo rovné zadanému číslu x . Aby byla $F(x)$ distribuční funkcí, musí mít tyto vlastnosti:

a) $F(x)$ je vždy kladná a omezená shora 1

$$0 \leq F(x) \leq 1$$

b) Je neklesající, tedy pro každou dvojici $x_1 < x_2$ musí platit, že $F(x_2) \geq F(x_1)$

c) $F(x_{\min}) = 0$; $F(x_{\max}) = 1$; kde $x_{\min}$, resp. $x_{\max}$ jsou minimální, resp. maximální hodnoty, kterých může realizace náhodné veličiny nabýt.

Spojité náhodné proměnné má distribuční funkci spojitou.
Derivace distribuční funkce

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (40)$$

je tzv. hustota pravděpodobnosti (frekvenční funkce) a má tyto vlastnosti:

- a) je všude kladná, tj. $f(x) \geq 0$
- b) je normalizovaná, tj. $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$
- c) pravděpodobnost $P(x_1 \leq \xi < x_2)$ toho, že náhodná veličina leží v intervalu $[x_1; x_2]$ je dána plochou

$$\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$$

- d) platí, že $f(x_{\min}) = f(x_{\max}) = 0$, kde $x_{\min}$ a $x_{\max}$ vymezují obor možných realizací náhodné veličiny ξ .

Momenty prvního řádu

K popisu náhodných funkcí se často používá číselných charakteristik, k nimž patří momenty prvního řádu /19/, /20/, /21/. Jsou definovány jako číselné charakteristiky souboru všech realizací náhodné funkce v určitém okamžiku, pak prvním obecným momentem je střední hodnota souboru, charakterizovaná jeho matematickou nadějí.

$$m_x(t) = E [X(t)] \quad (41)$$

Pro spojitou náhodnou funkci $X(t)$ lze vyjádřit matematickou naději souboru

$$m_x(t) = E [X(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx \quad (42)$$

kde $f(x)$ je hustota pravděpodobnosti.

U stacionárního náhodného procesu je matematická naděje nezávislá na čase a má konstantní velikost.

Je-li proces ergodický, pak střední hodnota souboru je s pravděpodobností jedna rovna střední hodnotě v čase určené z jedné realizace

$$E [X(t)] = \overline{X(t)} \quad (43)$$

$$\overline{X(t)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt \quad (44)$$

za předpokladu, že limita existuje.

Druhým obecným momentem souboru v určitém čase je střední hodnota druhé mocniny

$$E [X(t)^2] = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx \quad (45)$$

Kromě obecných momentů se používá ještě centrálních momentů, tj. momentů odchylek náhodného procesu od jeho střední hodnoty. První centrální moment je nulový. Pro popis náhodných procesů je obzvláště významný druhý centrální moment $D [X(t)]$ zvaný rozptyl (disperse)

$$D [X(t)] = E \{ [X(t) - m_X(t)]^2 \} = \int_{-\infty}^{\infty} [x - m_X(t)]^2 f(x) dx \quad (46)$$

Pro stacionární ergodický náhodný proces má výraz pro dispersi

$$D_X = E \{ [X(t)]^2 - m_X^2 \} = \overline{X^2(t)} - \overline{[X(t)]}^2 \quad (47)$$

a má konstantní hodnotu.

Druhá odmocnina rozptylu se nazývá střední kvadratická odchylka (standardní odchylka)

$$\sigma_X = + \sqrt{D(x)} \quad (48)$$

Střední kvadratická odchylka σ_X je mírou rozptýlení hodnot kolem střední hodnoty.

Střední hodnotu druhé mocniny v čase lze též psát ve tvaru

$$\overline{X^2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (49)$$

pro rozptyl

$$\overline{[X(t) - \bar{x}]^2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [X(t) - \bar{x}]^2 dt \quad (50)$$

Rozdíl $X(t) - m_x(t) = \overset{0}{X}(t)$ se nazývá centrovanou náhodnou funkcí, pro kterou platí, že

$$E[\overset{0}{X}(t)] = 0 \quad (51)$$

Korelační funkce

Korelační funkce charakterizuje stupeň vazby (korelaci) mezi hodnotami náhodného procesu v různých časových okamžicích. V obecném případě je funkcí dvou argumentů t_1 a t_2 a představuje vlastně matematickou naději součinu centrovaných hodnot náhodné funkce pro tyto dva argumenty

$$R(t_1, t_2) = E\{[X(t_1) - m_x(t_1)][X(t_2) - m_x(t_2)]\} \quad (52)$$

Je-li náhodný proces stacionární, pak korelační funkce je funkcí pouze rozdílu argumentů $\tau = t_2 - t_1$, nezávisí na jejich absolutní hodnotě a má stejnou hodnotu pro všechny argumenty t_1 a t_2 , které se od sebe liší o stejně velké τ .

$$R(\tau) = E\{[X(t) - m_x][X(t + \tau) - m_x]\} \quad (53)$$

U stacionárních ergodických náhodných procesů se korelační funkce může určit z jedné realizace. V tomto případě ji lze vyjádřit vztahem

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \overset{0}{X}(t) \cdot \overset{0}{X}(t + \tau) dt \quad (54)$$

Spektrální charakteristiky

Spektrum realizace $X(t)$ náhodného procesu v komplexní formě je vyjádřeno vztahem

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{j\omega t} dt \quad (55)$$

je to funkce náhodná.

Výkonová spektrální hustota $G(\omega)$ stacionárního ergodického náhodného procesu $X(t)$ vyjadřuje střední výkon připadající na jednotku frekvenčního pásma. Rozdělení středního výkonu procesu podle frekvencí se nazývá výkonovým spektrem nebo též energetickým spektrem.

Výkonové spektrum $G(\omega)$ stacionárního náhodného procesu je svázáno s korelační funkcí $R(\tau)$ tohoto procesu dvojicí Fourierových transformací

$$G(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (56)$$

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \quad (57)$$

K uvedenému přehledu pravděpodobnostních charakteristik náhodných procesů je třeba doplnit, že tyto charakteristiky představují nenáhodná čísla nebo funkce. Teoreticky jisté pravděpodobnostní charakteristiky však mohou být získány buďto ze souboru tvořeného nekonečným počtem realizací, nebo jedné realizace nekonečné doby trvání v případě stacionárního ergodického procesu.

V praxi však je počet realizací konečný, stejně tak doba jedné realizace u stacionárního ergodického procesu je omezena. Podle toho ve skutečnosti každá statistická charakteristika získaná měřením je náhodnou veličinou (funkcí), tj. pokus od pokusu může nabývat různých hodnot. Proto empirické charakteristiky získané měřením označujeme jako odhady charakteristik. Samotný odhad je veličina náhodná, proto nelze určit, jaká je jeho chyba. Můžeme pouze usuzovat z pravděpodobnosti, že chyba nepřekročí určité meze, že nevystoupí z intervalu spolehlivosti. Snahou je, aby měření probíhalo tak, aby pravděpodobnost odchýlení se odhadu od skutečné hodnoty byla minimální. K tomu je nutné splnit podmínky, při nichž má odhad následující vlastnosti:

1. Odhad je nestranný (nevychýlený), což znamená, že jeho střední hodnota (matematická naděje) odpovídá jisté hodnotě určené charakteristiky.
2. Odhad je efektivní, jestliže je nestranný a má minimální rozptyl při každém rozsahu n a při každé přípustné hodnotě parametru.
3. Odhad je konzistentní, jestliže pro $n \rightarrow \infty$ konverguje v pravděpodobnosti k odhadované charakteristice. Např. aby odhad m_x matematické naděje m_x byl konzistentní, musí platit

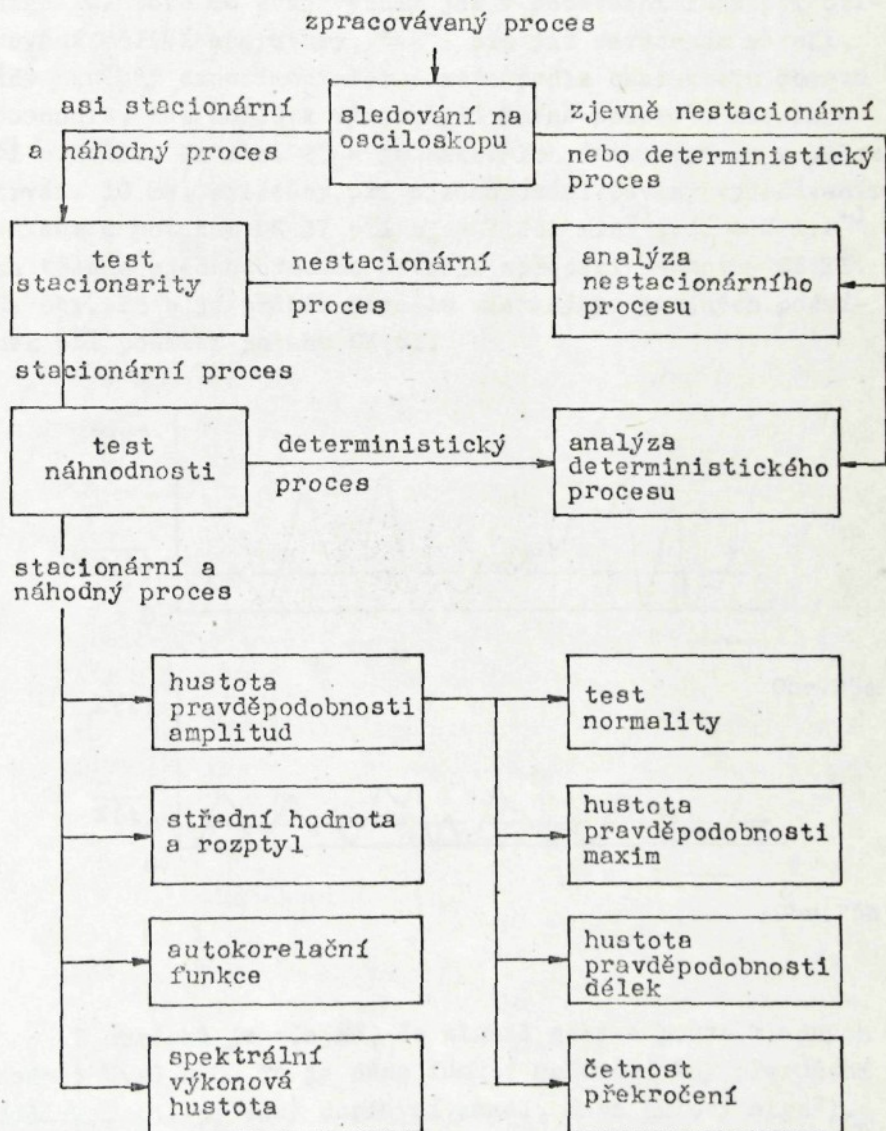
$$P_{N \rightarrow \infty} [|\hat{m}_x - m_x| < \varepsilon] \rightarrow 1 \quad (58)$$

kde ε je libovolně malé kladné číslo.

Ke splnění vztahu (58) stačí, aby odhad byl nestranný a jeho disperse konvergovala k nule pro $N \rightarrow \infty$.

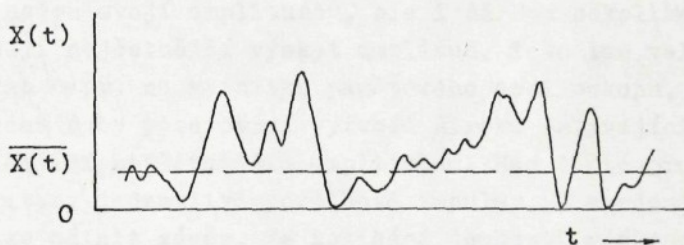
5.0 Vyhodnocování statistických charakteristik náhodného procesu

Obecný postup analýzy náhodného procesu v sobě zahrnuje následující testy a charakteristiky podle schematu:

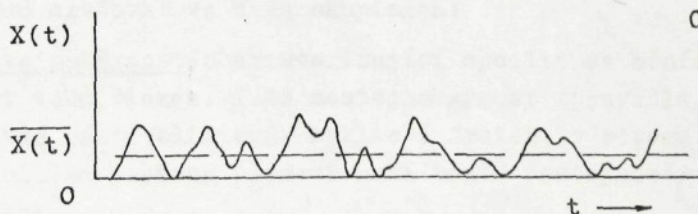


5.1 Vizuální hodnocení signálu

Pozorování průběhu signálu na osciloskopu je velmi důležitou součástí analýzy sledovaného děje. Pomocí osciloskopu lze velmi operativně získat základní informace o signálu. Toto má svůj význam jak v počáteční fázi při oživování měřicí aparatury, tak i při již zavedeném měření, kdy zkušený experimentátor dokáže podle charakteru obrazu posoudit, zda došlo k výraznější změně pozorovaného děje či nikoliv. Na obr. 25 a je nakreslen úsek signálu v délce trvání 10 ms, zjištěný při ojednocování bavlny vyčesávacím válcem s potahem OK 37 při $n_v = 7\,000\text{ min}^{-1}$, $Q_D = 2\text{ l.s}^{-1}$ na tělese ojednocovacího ústrojí spřádací jednotky CE II. Na obr. 25 b je průběh signálu získaný za stejných podmínek při použití potahu OK 61.



Obr.25a



Obr.25b

Z obrázků je zřejmé, že signál nabývá pouze kladných hodnot $X(t) \geq 0$. To je dáno funkcí snímače, kdy přerušení dodávky, tj. prázdný dopravní kanál, dává nulový signál.

40 pro barbu a
 $\alpha = 66^\circ$
 (+)

Přítomnost vláken v měřicím poli se projeví zvýšením amplitudy tak, jak bylo popsáno v kapitole 3. Z časového úseku mezi nulovými body můžeme usuzovat na délku vlákených komplexů a z amplitudy na jejich hmotnost. Na první pohled je zřejmý rozdíl v charakteru signálu, daný výškou amplitud a četností nulových bodů. Z podobného srovnání lze učinit závěr, že vlákený tok reprezentovaný signálem na obr. 25 b je stejnoměrnější než v případě na obr. 25 a. Příčinu rozdílu v charakteru signálu najdeme v rozdílné geometrii potahu, kde v tomto případě hlavním rozdílným parametrem je úhel čela zubu. Pro potah OK 37 činí $\alpha = 99^\circ$, pro OK 61 je $\alpha = 75^\circ$. Zaznamenané komplexy vláken jsou délkově přibližně trojnásobné u potahu OK 37.

Sledujeme-li průběh signálu delší časový úsek zjistíme, že v signálu jsou obsaženy impulsy - poruchové jevy, které nejen svojí amplitudou, ale i délkou několikanásobně převyšují nejčastější výskyt amplitud. Toto lze velmi dobře sledovat např. na stínítku paměťového osciloskopu, kde se v průběhu doby pozorování vytvoří široká splývající stopa odpovídající nejčastějším amplitudám. Nad tímto pruhem jsou patrné jednotlivé poruchové impulsy. Z uvedeného zjištění lze učinit závěr, že kolísání jemnosti vlákeného toku je nutné sledovat ve dvou skupinách:

1. Nestejnoměrnost charakterizující spojitě se měnící jemnost toku vláken. Tuto nestejnoměrnost zpravidla v podstatné části eliminuje cyklické družení v rotoru. Rovněž stabilita procesu předení není touto nestejnoměrností narušena.
2. Poruchové jevy - shluky představují komplexy vláken, jejichž počet několikanásobně převyšuje střední hodnotu počtu vláken v průřezu vlákeného toku. Tyto poruchové jevy lze řadit do skupiny řídkých jevů. Jejich výskyt přímo ovlivňuje nestejnoměrnost příze, má souvislost s počtem vad na přízi, především noplek a silných míst.

Krajním případem jsou takové shluky, které způsobují přetrh příze.

5.2 Test stacionarity

Z fyzikální podstaty procesu ojednocování lze usuzovat, že se jedná o proces stacionární. Můžeme tedy předpokládat, že i vlákenný tok na výstupu z ojednocovacího ústrojí, resp. jemnost vlákenného toku, bude stacionární náhodnou funkcí času.

Dokázat striktní definici stacionárnosti, tj. že všechny statistické charakteristiky až n -tého řádu ($n \rightarrow \infty$) jsou invariantní, je těžko uskutečnitelné a proto byly vytvořeny praktické testy stacionarity založené na následujících předpokladech:

- a) jestliže stacionární proces rozdělíme na úseky a vypočítáme jejich statistické charakteristiky, potom se charakteristiky jednotlivých úseků nebudou podstatně lišit (ve smyslu pravděpodobnostní hladiny významnosti). Naopak, půjde-li o proces nestacionární, budou mezi těmito charakteristikami významné rozdíly. Takto dělený náhodný proces musí být dostatečně dlouhý, aby dílčí úseky bylo možno považovat za reprezentativní.
- b) Stacionaritu procesu v širším smyslu posuzujeme jen na základě charakteristik prvního a druhého řádu, tzn. že porovnáváme střední hodnoty $\bar{x}$, rozptyly s^2 a autokorelační funkce $R(\tau)$.
- c) Autokorelační funkce stacionární náhodné funkce závisí pouze na rozdílu argumentů $t_2 - t_1$, tzn., že je funkcí pouze jednoho argumentu $\tau = t_2 - t_1$

$$R(t_1, t_2) = R(\tau)$$

Disperse stacionární náhodné funkce je konstantní pro všechny hodnoty argumentu t a rovná se hodnotě autokorelační funkce pro $\tau = 0$

$$D(t) = R(0)$$

Na základě uvedených předpokladů provedeme prakticky test stacionarity. Fotoelektrický obraz dodávky vláken, jako realizaci náhodné funkce s dobou trvání $T = 10$ minut, rozdělíme na $k = 10$ stejných úseků $x_i(t)$. Pro každý úsek naměříme střední hodnotu $\overline{x_i(t)}$ a rozptyl s_i^2 . Tím jsme získali dvě posloupnosti o 10 členech, viz tabulku I. Podmínky měření: ojednocovací ústrojí typ CE II, potah vyčesávacího válce OK 40, $n_v = 7\,000\text{ min}^{-1}$, surovina bavlna RI/RII, $Q_D = 2\text{ l.s}^{-1}$.

Tab. I

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\overline{x_i(t)}/V/$	2,28	2,24	2,33	2,26	2,24	2,29	2,23	2,27	2,30	2,21
$s_i^2/V^2/$	0,79	0,72	0,74	0,74	0,76	0,76	0,74	0,72	0,77	0,78

Na každou z těchto posloupností aplikujeme test náhodné změny. Hodnoty uvedené v tabulce byly získány vždy z $n = 20$ členů.

Fisherův F-test (stacionarita ve střední hodnotě)

Z výběrových průměrů $\bar{x}_1, \bar{x}_2 \dots \bar{x}_k$ vypočítáme rozptyl $s_{\bar{x}}^2$, dále z výběrových rozptylů $s_1^2, s_2^2 \dots s_k^2$ stanovíme průměr $\overline{s^2}$.

Vlastní testové kritérium zní:

1. Jestliže

$$F_m = \frac{n \cdot s_{\bar{x}}^2}{\overline{s^2}} > F_{0,005} (k-1, N-k) \quad (59)$$

můžeme s pravděpodobností 0,995 tvrdit, že zkoumaný proces je nestacionární ve střední hodnotě.

2. Platí-li obrácená nerovnost, přijmeme hypotézu, že proces je stacionární.

Pro hodnoty uvedené v tabulce vychází

$$s_{\bar{x}}^2 = 0,00132 ; \overline{s^2} = 0,752$$

$$F_m = \frac{20 \cdot 0,00132}{0,752} = 0,0350$$

pro $k = 10$ najdeme v tabulkách $F_{0,005} = 2,62$.

Vyšla obrácená nerovnost, můžeme tedy vyslovit hypotézu, že proces je stacionární.

Stacionárnost v rozptylu

K ověření stacionarity v rozptylu použijeme např. Cochranovo kritérium /22/. Chceme prověřit nulovou hypotézu, že výběrové rozptyly s_i^2 jsou si při zadané významnosti α rovny. Jinými slovy, zjišťujeme-li významný nebo nevýznamný rozdíl mezi rozptyly, Cochranovo kritérium vychází z poměru maximální disperse k sumě všech dispersí.

$$C = s_{\max}^2 : (s_1^2 + s_2^2 + \dots s_i^2) \quad (60)$$

Rozdělení této náhodné veličiny závisí pouze na počtu stupňů volnosti $k = n - 1$ a počtu výběrů i .

1. Jestliže $C > C_k$ pro $(\alpha ; k ; i)$ můžeme s pravděpodobností $1 - \alpha$ tvrdit, že zkoumaný proces je nestacionární v rozptylu.
2. Platí-li obrácená nerovnost, přijmeme hypotézu, že proces je v rozptylu stacionární.

Uplatněním uvedeného kritéria na hodnoty z tabulky I. dostaneme

$$C = \frac{0,79}{7,52} = 0,105$$

$$C_k = 0,307 \text{ pro}$$

$$\alpha = 0,01 ; k = 9 ; i = 10$$

$$C < C_k$$

V souladu s bodem 2. přijmeme hypotézu, že proces je stacionární v rozptylu.

Na základě úvah o fyzikálních podmínkách vzniku náhodného procesu a s využitím výsledků testovacích kriterií budeme předpokládat, že zpracováváný signál, jako výsledek odvozený z procesu ojednocování, je stacionární.

5.3 Ověření náhodnosti

V praxi se můžeme setkat s procesem náhodným, deterministickým, event. s procesem, který má náhodnou i deterministickou složku.

Jestliže jsme v průběhu dosavadní analýzy nezjistili vlastnosti odpovídající deterministickému procesu, půjde tedy o proces čistě náhodný, případně náhodný s deterministickou složkou. V tomto případě provádíme testování na přítomnost periodických složek. Přítomnost periodické složky v signálu nemůžeme dopředu vyloučit a to již na základě přítomnosti rotujících součástí, tj. podávacího a vyčesávacího válce.

Nejefektivnější způsob odhalení periodické složky v signálu je spektrální a korelační analýza. Touto problematikou se budeme zabývat v dalších kapitolách. Pokud náhodný signál periodickou složku obsahuje, záleží na tom, v jakém jsou poměru. V případě výrazného podílu periodické složky by se to projevilo i na průběhu hustoty pravděpodobnosti jako bimodální rozdělení.

Provedená měření výkonové spektrální hustoty a autokorelační funkce ukázala, že u vinutých potahů je zastoupena periodická složka na frekvenci odpovídající otáčkám vyčesávacího válce. Amplituda této složky je proměnná a závisí do značné míry na typu a provedení potahu vyčesávacího válce.

5.4 Střední hodnota

Střední hodnota náhodné funkce $X(t)$ je nenáhodnou funkcí $m_x(t)$, kolem které jsou rozloženy funkční hodnoty jednotlivých realizací. V případě stacionární náhodné funkce představuje střední hodnota konstantní číselnou charakteristiku $m_x(t) = m_x = \text{konst.}$

V našem případě střední hodnota signálu dává informaci o střední jemnosti vlákenného toku. Podle rovnice kontinuity musí platit, že součin jemnosti toku vláken a jeho rychlosti musí být v každém průřezu dopravní cesty konstantní.

$$\overline{T}_{t2} \cdot \overline{v}_2 = \overline{T}_{t0} \cdot \overline{v}_0 = \text{konst.} \quad (61)$$

V přívodním kanále mezi ojednocovacím ústrojím a sprádacím rotorem je nosným médiem vláken vzduch. Vzhledem k tomu, že v místě, kde tok vláken sledujeme, má charakter ojednocovaných vláken nebo skupin vláken prakticky bez mechanických vazeb, je objemový průtok vzduchu a tím i rychlost vzduchu určující pro rychlost vláken. Při práci se snímačem FOMED je měřicí místo v takové vzdálenosti od oblasti snímání, že se rychlosti vzduchu i vláken prakticky vyrovnávají. Jemnost $\overline{T}_{t2}$ můžeme určit z rovnice (61) ze znalosti rychlostí a jemnosti předlohy T_{t0} .

Za předpokladu, že pracujeme v lineární oblasti přenosové charakteristiky snímače, lze usuzovat na jemnost toku vláken $\overline{T}_{t2}$ z velikosti střední hodnoty fotoelektrického obrazu $\overline{U}_{T2}$

$$\overline{T}_{t2} = \frac{\overline{U}_{T2}}{k} \quad (62)$$

kde k je konstanta úměrnosti, kterou je nutné zjistit experimentálně pro daný pracovní režim snímače a daný vlákenný materiál.

Měření střední hodnoty se provádí upraveným analogovým

integrátorem, jehož principiální schema je na obr. 26.

Před začátkem integrace ($t < 0$) se zkratováním kondenzátoru zajistí nulová hodnota výstupního napětí.

V čase $0 \leq t \leq T$ je na vstupu integrátoru zkoumaná realizace $x(t)$. V čase $t = T$ se změří hodnota výstupního napětí $y(T)$. Ukazatelem přesnosti odhadu střední hodnoty je disperse

$$D[\hat{m}_x] = E[(\hat{m}_x)^2] - m_x^2 \quad (63)$$

pro kterou platí přibližný vztah

$$D[\hat{m}_x] \approx \frac{2 \sigma_x^2}{T} \tau_k \quad (64)$$

kde

σ_x ... směrodatná odchylka měřeného signálu

τ_k ... interval korelace

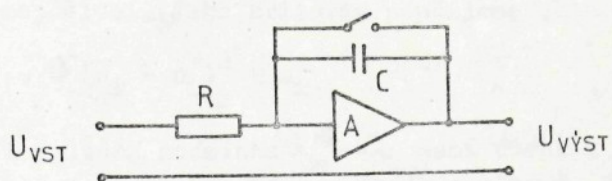
T ... doba integrace

Abychom získali představu o rozptylu naměřených odhadů středních hodnot z jednotlivých realizací téhož procesu, bylo provedeno padesát měření střední hodnoty signálu při ojednocování bavlny s potahem vyčesávacího válce OK 37. Z naměřených hodnot byl sestaven histogram četností rozdělený do 12. tříd. V tabulce II. jsou naměřené a vypočtené hodnoty četností v jednotlivých třídách. U vypočtených hodnot se vycházelo z předpokladu normálního rozdělení s parametry $\bar{x} = 2,256$; $\sigma = 0,1$; $\bar{x}_{\min} = 1,989$, $\bar{x}_{\max} = 2,546$

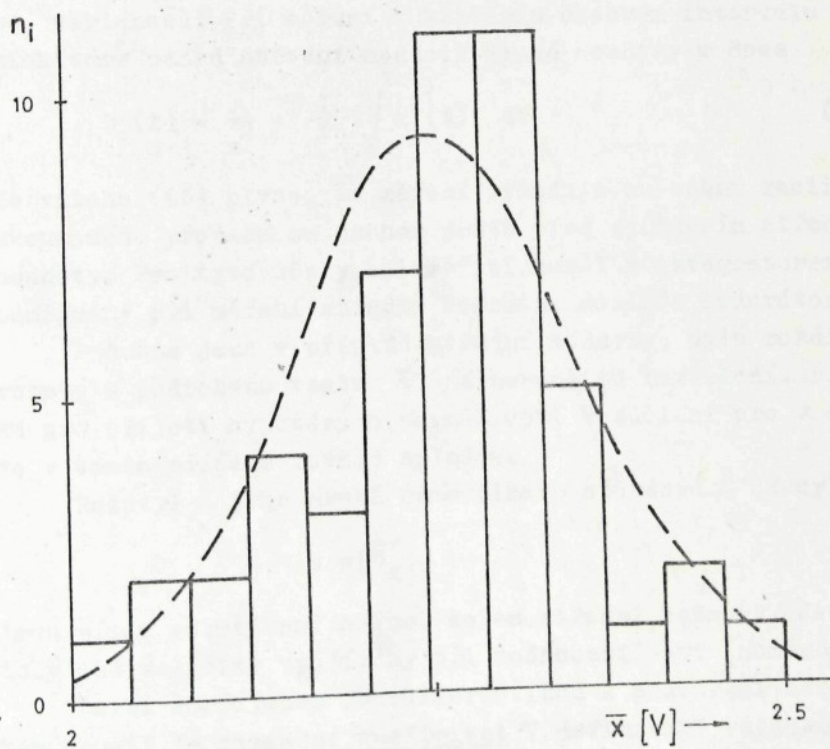
Tab. II.

třída	1	2	3	4	5	6
n_i	1	2	2	4	3	7
n'_i	0,45	1,17	2,52	4,54	6,91	8,70
třída	7	8	9	10	11	12
n_i	11	11	5	1	2	1
n'_i	9,18	8,10	5,93	3,66	1,89	0,80

Průběh histogramu a vypočtené křivky rozdělení četností je na obr. 27.



obr. 26



obr. 27

Provedeme prověrku hypotézy, že měřená veličina má normální rozdělení. Jako kriteria použijeme χ^2

$$\chi_m^2 = \sum (n_i - n'_i)^2 : n_i \quad (65)$$

Je-li splněna podmínka $\chi_m^2 < \chi_k^2$ není důvod k odmítnutí hypotézy, že daný soubor má normální rozdělení. Pro hodnoty uvedené v tabulce II. $\chi_m^2 = 7,51$; χ_k^2 ($\alpha = 0,05$; $k=9$) = 16,9.

Podmínka pro přijetí hypotézy je splněna.

5.5 Rozptyl

Důležitou číselnou charakteristikou náhodných procesů je střední hodnota druhé mocniny v čase - rozptyl (disperse, variance). Při měření v konečném časovém intervalu T získáváme odhad střední hodnoty druhé mocniny v čase

$$D_x(t) = \frac{\Delta}{x^2} = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (66)$$

Ze vztahu (66) plyne, že měření vyžaduje umocnění realizace zkoumaného procesu na druhou ještě před zjištěním střední hodnoty. Pro tyto účely byl měřicí kanál s integrátorem, používaný při měření střední hodnoty, doplněn kvadrátorem.

Podobně jako v případě střední hodnoty, bylo rozdělení rozptylu podrobena testu χ^2 na normalitu rozdělení. Podmínka pro přijetí hypotézy o normalitě rozdělení pro $\alpha = 0,05$ je v tomto případě rovněž splněna.

Rozptyl a jeho druhá odmocnina - standardní odchylka

$$s = \sqrt{D_x} \quad (67)$$

jsou mírou rozptýlení hodnot kolem střední hodnoty. Jsou tedy obě veličiny využívány při hodnocení nestejnoměrnosti.

Další rozšířenou charakteristikou k posouzení nestejnoměrnosti je variační koeficient V definovaný vztahem

$$V = \frac{s}{m_x} \cdot 100 \quad \text{/\%/} \quad (68)$$

Variační koeficient náhodné funkce toku vláken nabývá vysokých hodnot. Je to dáno charakterem toku vláken a odvozeného fotoelektrického obrazu. Signál se vyznačuje malou střední hodnotou a relativně velkou standardní odchylkou. Praktické hodnoty se pohybují v rozmezí 30 až 50 %. Použití variačního koeficientu při srovnávání vlivu různých parametrů na proces ojednocování je možné tam, kde nedochází k větší změně střední hodnoty. Jinak může nastat případ, že při zjemnění toku vláken dostaneme vyšší variační koeficient, i když ve skutečnosti jde o zkvalitnění procesu.

Vzájemné porovnání všech uvedených charakteristik bude provedeno na konkrétním případě v závěru této kapitoly.

5.6 Rozdělení pravděpodobnosti

K úplnému popisu náhodných proměnných je možno použít distribuční funkci $F(x)$, která je pro každé možné x definována vztahem

$$F(x) = P(\xi \leq x) \quad (69)$$

nebo hustota pravděpodobnosti $f(x)$, která pro spojitou náhodnou veličinu je derivací distribuční funkce.

V následujícím se budeme zabývat uvedenými charakteristikami pro případ fotoelektrického obrazu dodávky vláken v rámci analýzy procesu ojednocování.

Signál, který analyzujeme, má charakter spojitě náhodné funkce, i když ve skutečnosti originálem je vlákený tok tvořený jednotlivými vlákny, skupinami vláken, event. přerušením toku. Měřicí metoda - integrální funkce snímače vytváří tuto spojitou náhodnou funkci.

Rozdělení spojitě náhodné proměnné je obvykle závislé na parametru polohy a rozptýlení. Při odhadu těchto parametrů se vychází z náhodného výběru velikosti N , tedy z

N -tice realizací $\{x_i\}$ $i = 1, \dots, N$, resp. z odpovídajících hodnot aritmetického průměru $\bar{x}$ a rozptylu s^2 . Pro některá rozdělení existují ještě parametry tvaru, které určují konkrétní tvar normalizovaného rozdělení (tj. rozdělení mající nulovou střední hodnotu a jednotkový rozptyl).

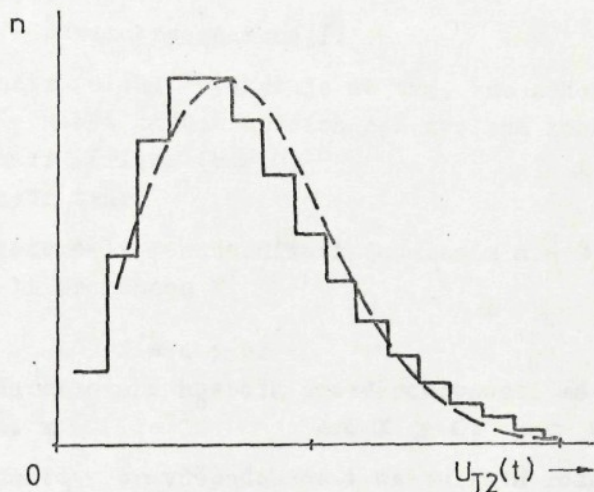
Z teorie a technické praxe je známa celá řada rozdělení. Snahou je přiřadit konkrétnímu případu některé ze známých rozdělení tak, aby toto přiřazení bylo adekvátní. V našem případě, kdy se jedná o vláknenný útvar složený z diskrétních prvků - vláken, se nabízí využít Poissonovo rozdělení, které je základem rozdělení ideálního svazku vláken. Toto rozdělení však nelze aplikovat na analyzovaný signál, poněvadž, jak bylo uvedeno, má povahu náhodné spojité funkce. K získání představy o rozdělení amplitud bylo provedeno měření v první fázi na analogovém počítači MEDA 41 TC a následně s využitím přístroje "Histogram III", který byl zapůjčen z VÚT Brno, katedry lékařské elektroniky. Tento přístroj představuje specializovaný minipočítač, určený pro hodnocení náhodných procesů pomocí histogramů. Jeho základní funkcí je třídění vstupních veličin, které reprezentují diskrétní náhodný proces, nebo které byly získány jako vzorky spojitého procesu, podle jejich hodnoty do vhodně zvolených tříd.

Histogram umožňuje třídění těchto typů vstupních veličin

- časových intervalů
- okamžitých frekvencí
- počtu impulsů ve skupinách
- okamžitých hodnot analogového napětí

V našem případě byl využit první a čtvrtý pracovní režim. Měření uskutečněná v režimu třídění amplitud poskytla soubor tvarově podobných histogramů. Dalším zpracováním na počítači se hledalo optimální přiřazení některého ze známých rozdělení užívaných pro spojité náhodné funkce. Vycházíme-li z tvaru naměřeného histogramu, viz obr. 28

a srovnáváme-li ho se známými průběhy hustoty pravděpodobnosti, ukazují se jako podobné: Weibullovo, Rayleighovo, logaritmicko normální.



Obr. 28

Weibullovo rozdělení

Náhodná proměnná X má Weibullovo rozdělení, jestliže proměnná Y daná nelineární transformací

$$Y = \left(\frac{X-a}{b}\right)^c \quad c > 0, \quad b > 0 \quad (70)$$

má exponenciální rozdělení

$$f(y) = e^{-y} \quad \text{pro } y > 0 \quad (71)$$

Obecný tvar hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení je následující

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-a}{b} \right)^c} \quad (72)$$

pro $x \geq 0$, $c > 0$, $b > 0$

Obecně je tedy Weibullovo rozdělení tříparametrické $W(a, b, c)$.

Jednotlivé parametry znamenají:

- a - parametr polohy, vyskytuje se tam, kde náhodná proměnná nemůže nabýt hodnot nižších než zvolená konstanta a
- b - parametr měřítka ($b > 0$)
- c - parametr tvaru

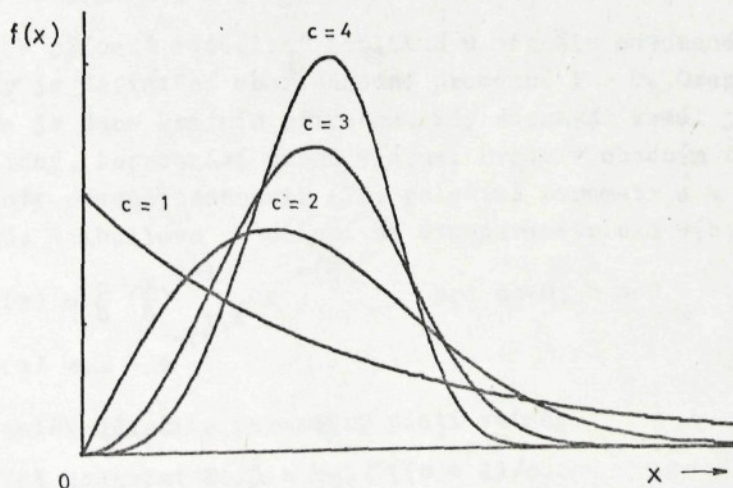
Provedeme-li standardizaci dosazením $a = 0$, $b = 1$, tj. zavedeme-li proměnnou x'

$$x' = a + bx \quad (73)$$

pak standardizovaná hustota pravděpodobnosti má tvar

$$f(x) = c \cdot x^{c-1} \cdot e^{-x^c} \quad \text{pro } x \geq 0, \quad c > 0 \quad (74)$$

Průběhy hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení pro různé hodnoty c jsou na obr. 29.



Obr. 29

Změnou parametru c je možné dosáhnout poměrně široké variability tvaru funkce $f(x)$.

Pro $c > 1$ má hustota pravděpodobnosti zvonovitý tvar, při $c \approx 3,6$ se blíží normálnímu rozdělení.

Je-li $c = 1$, přechází $f(x)$ na exponenciální funkci rozdělení pravděpodobnosti

$$f(x) = e^{-x} \quad \text{pro } c = 1 \quad (75)$$

Pokud je $c > 1$, jedná se o rozdělení unimodální. Pro $0 \leq c < 1$ je průběh hustoty pravděpodobnosti monotónně klesající.

Speciálním případem Weibullova rozdělení pro $c = 2$ je tzv. Rayleighovo rozdělení, které se používá pro vyjádření rozdělení veličiny $Y = (X_1^2 + X_2^2)^{\frac{1}{2}}$, kde X_1 a X_2 mají normální rozdělení.

Obecný tvar distribuční funkce Weibullova rozdělení je

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c} \quad (76)$$

ve standardizované formě

$$F(x) = 1 - e^{-x^c} \quad (77)$$

V případě rozdělení amplitud u signálu odvozeného z dávky je definiční obor náhodné proměnné $X > 0$. Omezení zleva je dáno krajním případem, kdy dopravní kanál je prázdný, neprochází žádná vlákna. Proto v obecném tvaru hustoty pravděpodobnosti (72) položíme parametr $a = 0$. Tím přejde Weibullovo rozdělení na dvouparametrické $W(b, c)$.

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c} \quad \text{pro } c > 0, b > 0 \quad (78)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c} \quad (79)$$

Pro další důležité parametry platí vztahy

střední hodnota: $E(x) = b \cdot \Gamma((c+1)/c)$

rozptyl: $D(x) = b^2 \left[\Gamma((c+2)/c) - (\Gamma((c+1)/c))^2 \right]$

medián: $\tilde{x} = b(\ln 2)^{\frac{1}{c}}$

$$\begin{aligned} \text{modus: } M_0(x) &= b (1 - 1/c)^{1/c} & \text{pro } c \geq 1 \\ M_0(x) &= 0 & \text{pro } c < 1 \end{aligned}$$

Z výrazu pro střední hodnotu a směrodatnou odchylku dostaneme vztah pro variační koeficient

$$V_x = \frac{\sqrt{D(x)}}{E(x)} = \frac{\sqrt{\Gamma(1 + \frac{2}{c}) - \Gamma(1 + \frac{1}{c})^2}}{\Gamma(1 + \frac{1}{c})} \quad (80)$$

Variační koeficient V_x závisí pouze na c , což lze s výhodou využít k určení tohoto parametru. Víme-li, že pro danou proměnnou platí Weibullův zákon rozdělení, stačí určit z pokusu variační koeficient. Na základě vypočítaného variačního koeficientu potom stanovíme příslušné c . V tabulce III. jsou pro ilustraci uvedeny odpovídající dvojice c a V_x . Skutečné hodnoty koeficientu variace se pohybují v oblasti 30 % až 50 %. Lze tedy očekávat, že parametr c se bude pohybovat od 2 do 3,5.

Tab. III.

c	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0	3,5
V_x	0,837	0,723	0,640	0,575	0,523	0,360	0,316

Abychom mohli analyticky vyjádřit vztah pro rozdělení, musíme najít parametry b , c . Přitom budeme postupovat způsobem obvyklým v případech, kdy je k dispozici soubor naměřených hodnot. V našem případě je k dispozici histogram, event. dříve popsáným způsobem zjištěná střední hodnota a směrodatná odchylka nebo-li variační koeficient. Využitím vlastností variačního koeficientu V_x určíme podle shora uvedeného návodu parametr c . Ze znalosti střední hodnoty $E(x)$ a pomocí vztahu pro výpočet střední hodnoty Weibullova rozdělení, můžeme určit parametr b .

Uvedeným způsobem byl zpracován histogram rozložení amplitud signálu získaného při měření ojednocování bavlny potahem OK 40. Průběh histogramu, hustoty pravděpodobnosti

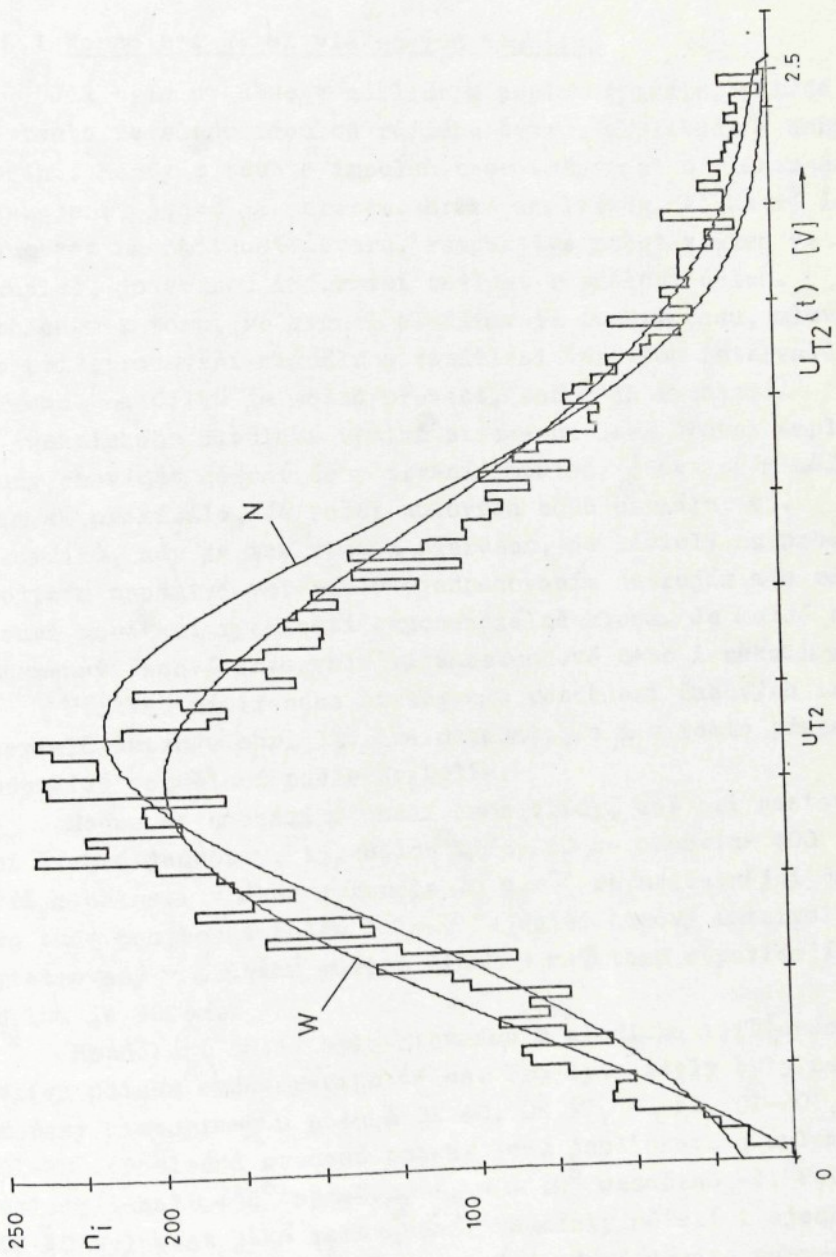
podle Weibullova zákona, ukazuje obr. 30. Z parametrů $\bar{x}$ a s , určených ze souboru naměřených hodnot, bylo vypočteno normální rozdělení. Průběh hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení je rovněž zakreslen v obr. 30. Z průběhu obou křivek je vidět, že Weibullovo rozdělení podstatně lépe vystihuje rozložení skutečných hodnot. Pro oba typy rozdělení provedeme test shody.

Výsledek testu χ^2 , kterým se testoval rozdíl mezi naměřeným rozdělením amplitud a vypočteným podle Weibulla je takový, že vyhovuje podmínce pro přijetí hypotézy, že rozdíl není významný. Konkrétně s významností $\alpha = 0,05$ pro $k = 70$ stupňů volnosti

$$\chi_{kr}^2 = 90,5 \quad , \quad \chi_m^2 = 75,6$$

$$\chi_{kr}^2 > \chi_m^2$$

Tuto shodu bylo možno předpokládat z průběhu na obr. 30. Zde je zároveň vidět odchylku od normálního rozdělení, kde i podmínka testu není splněna. Můžeme tedy konstatovat, že hustota pravděpodobnosti rozdělení amplitud fotoelektrického obrazu toku vláken v dopravním kanále ojednocovacího ústrojí vyhovuje Weibullovu rozdělení.



obr. 30

5.6.1 Rozdělení délek vláknenných komplexů

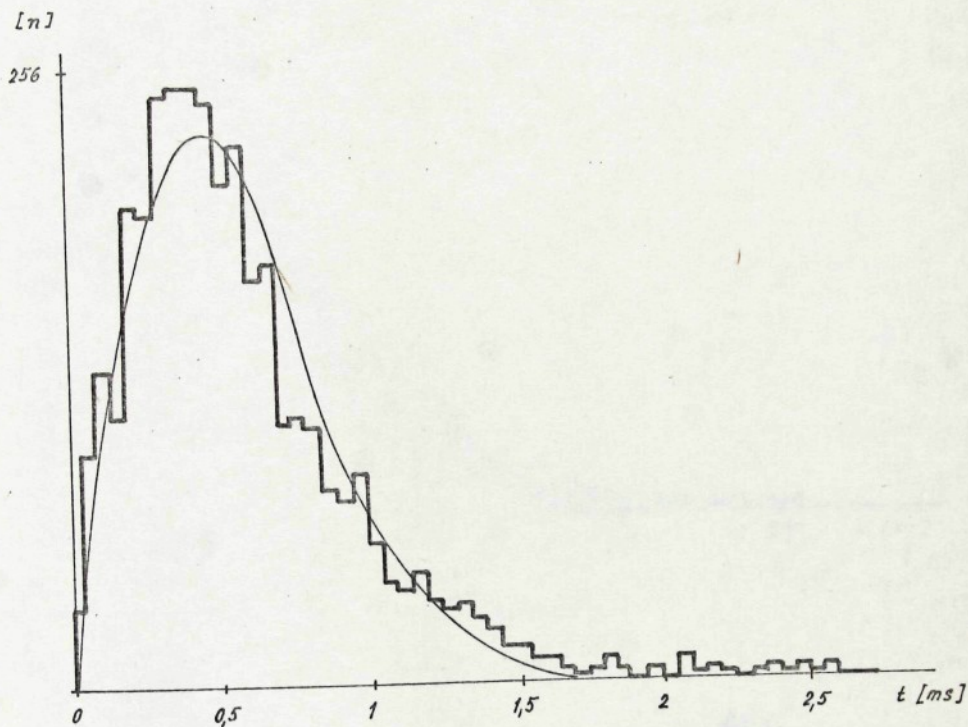
Jak bylo uvedeno v základním popisu signálu, skládá se tento ze sledu impulsů různého tvaru, amplitudy a doby trvání. Každý z těchto impulsů nese informaci o vláknenném seskupení, jehož je obrazem. Kromě amplitudy, ze které lze usuzovat na hmotnost útvaru, respektive počet vláken ve skupině, je cennou informací znalost rozdělení délek. Vzhledem k tomu, že signál představuje funkci času, mluvíme při zpracování signálu o rozdělení časových intervalů. Přejít na délku je možné provést, známe-li rychlost. Z technického hlediska vzniká otázka na jaké úrovni amplitudy provádět měření doby trvání impulsů. Praktickým měřením se prokázalo, že počet nulových bodů signálu, tj. okamžiků, kdy je tok vláken přerušen, je závislý na procházejícím množství materiálu ojednocovacím ústrojím a s rostoucí podávací rychlostí exponenciálně klesá. Je možné zaznamenat časové intervaly mikrosekundové nebo i několik ms.

Příklad naměřeného histogramu rozdělení časových intervalů ukazuje obr. 31. Lze dokázat, že i v tomto případě odpovídá rozdělení podle Weibulla.

Modus se nachází v okolí osmé třídy, což při nastavení časové jednotky, tj. délce třídy $50 \mu s$ odpovídá $400 \mu s$. Při rychlosti vláken v kanále $30 m.s^{-1}$ se nejčastější délka bude pohybovat kolem 12 mm. Nejdelší časový interval registrovaný v průběhu měření činil 3 ms, tomu odpovídající délka je 90 mm.

Rozdělení délek bylo zkoumáno z hlediska zjišťování vlivu potahu vyčesávacího válce. Pro tyto účely byly naměřeny histogramy u potahů OK 40, OK 37, OK 61, 01-20⁺, 01-20⁻. (Posledně uvedené potahy jsou jehličkové s úhlem sklonu jehel $\alpha < 90^\circ$ označeno +, $\alpha > 90^\circ$ označeno -). Potah OK 40 byl vzat jako referenční. Podmínky měření i ojednocování byly ve všech případech stejné, dané těmito parametry: $n_v = 7\ 000\ min^{-1}$, dodávka vláken $g_h = 130\ g.h^{-1}$, $Q_D = 2\ l.s^{-1}$,

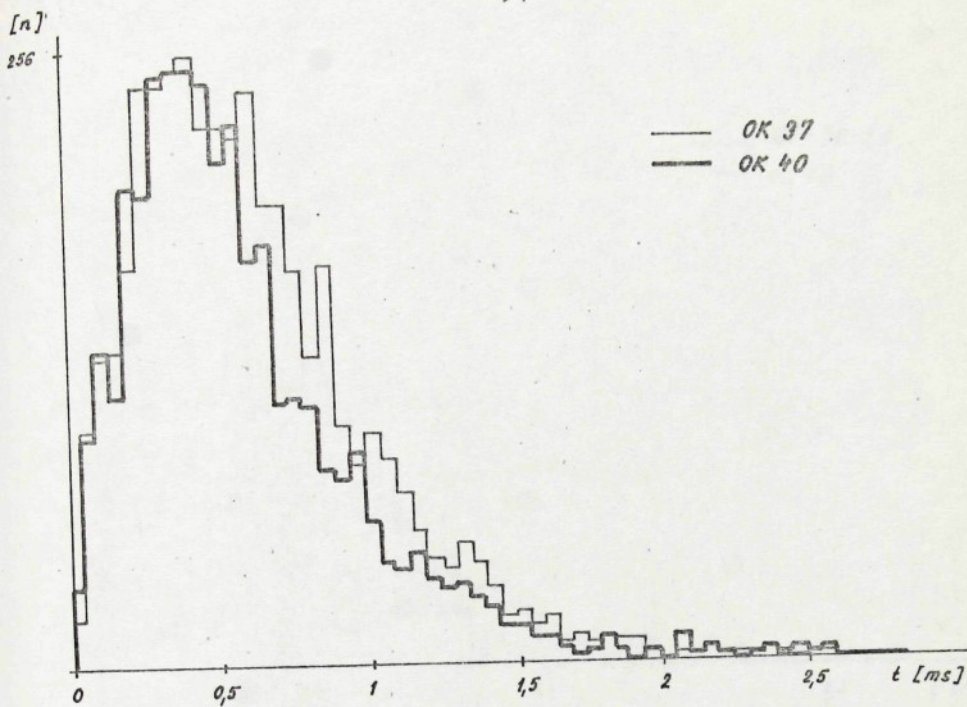
surovina bavlna RI/RII/RIII, 45/40/15 %.



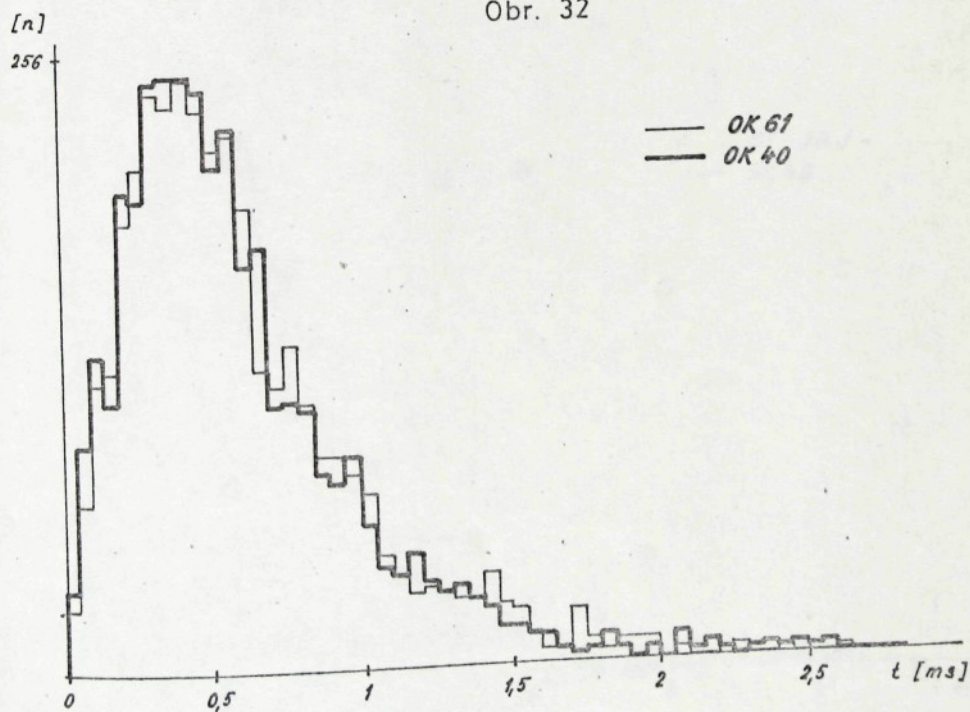
Obr. 31

Průběhy histogramů jsou na obr. 32, 33, 34, 35. Viditelný rozdíl je pouze mezi potahy OK 37 a OK 40, 01-20 + a OK 40. Z amplitudové analýzy je známo, že pro ojednocování bavlny je vhodnější potah OK 40 oproti OK 37. Toto zjištění potvrzuje analýza délková. Zajímavá je shoda histogramů na obr. 33 potahů OK 40 a OK 61. Použitelnost obou potahů při spřádání bavlny s dobrou kvalitou příze byla ověřena i výpředovou zkouškou.

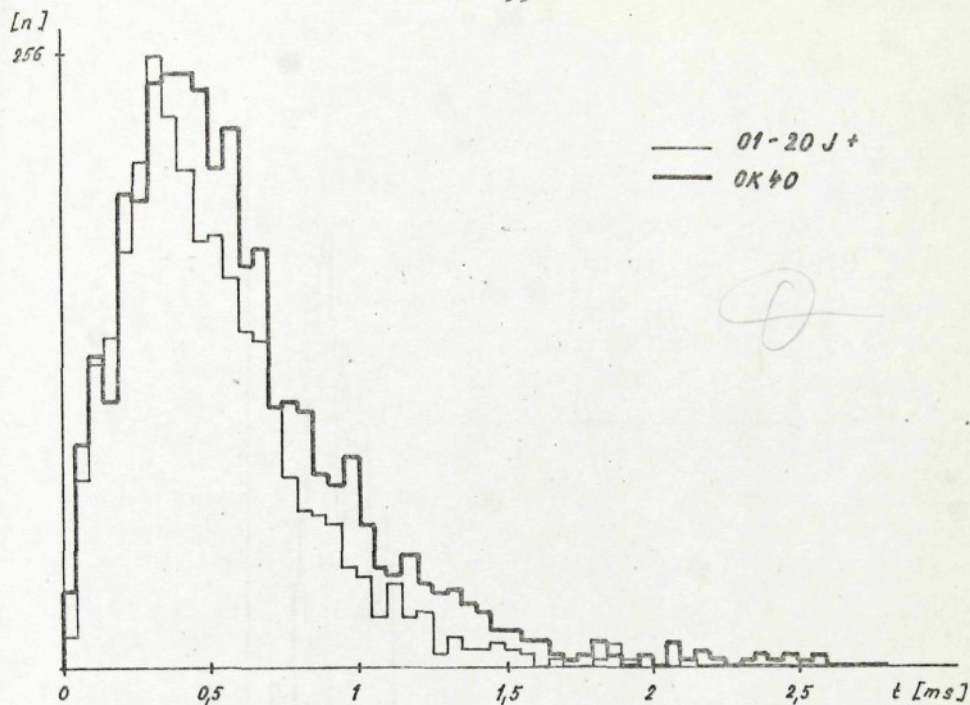
Pro účely testování vlivu potahu vyčesávacího válce se z hlediska obsahu informace jeví nejvýhodnější histogramy naměřené v režimu třídění časových intervalů při komparační hladině $U_{H_i} > \bar{x}$ za pevně stanovenou dobu trvání realizace procesu.



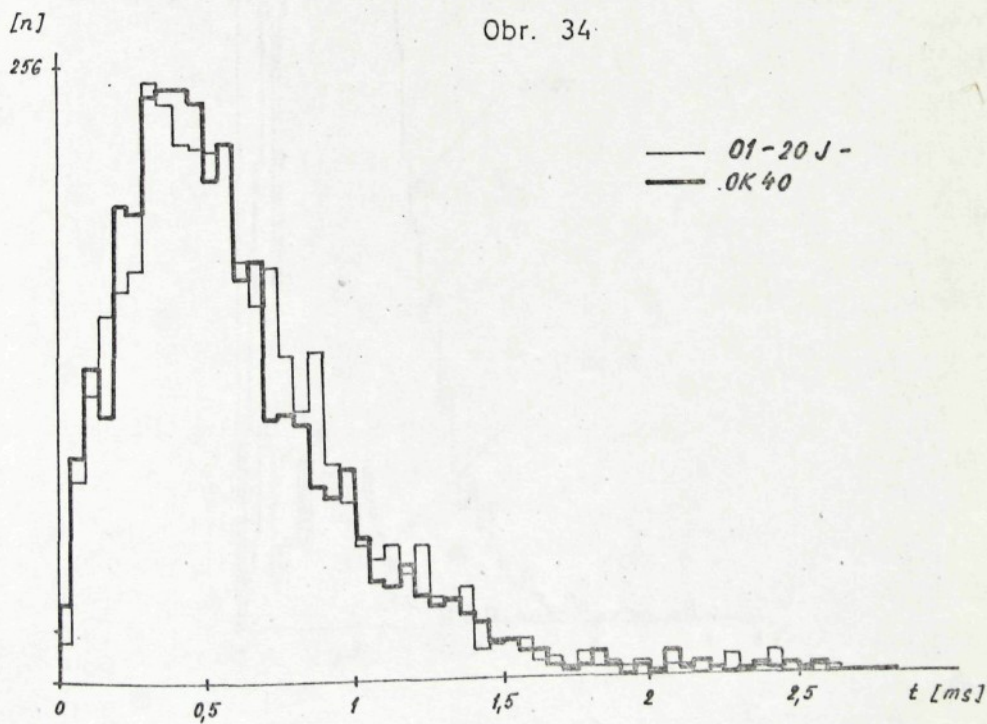
Obr. 32



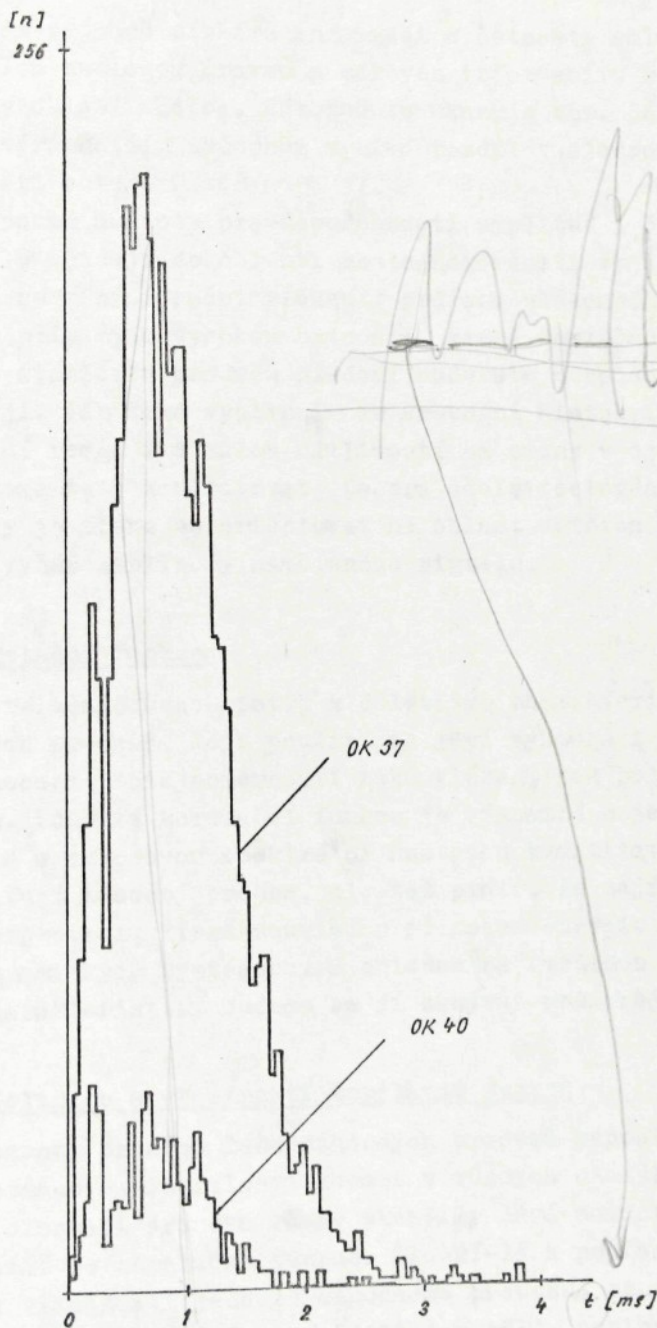
Obr. 33



Obr. 34



Obr. 35



V takovém případě získáme informaci o četnosti shluků převyšujících zvolenou úroveň a zároveň informaci o vzájemném vztahu v oblasti délek. Názorně to ukazuje obr. 36, kde podstatně výraznějším způsobem vyniká rozdíl v ojednocovací schopnosti potahů OK 40 a OK 37.

Popsané hustoty pravděpodobnosti amplitud i časových intervalů spadají do oblasti nestejnoměrnosti vyjadřující spojitě se měnící počet vláken v průřezu vlákenného toku. Jsou to případy s vysokou četností, které nestejnoměrnost příze a stabilitu procesu předení podstatným způsobem neovlivňují. Jak také vyplynulo ze srovnání histogramů, obě rozdělení reagují s malou citlivostí na změny v ojednocování. Můžeme tedy konstatovat, že pro účely testování a diagnostiky je třeba se orientovat na oblast větších poruch, tj. na vyšší amplitudy naměřeného signálu.

5.7 Korelační funkce

Korelační funkce patří k důležitým charakteristikám náhodných procesů. Její použití se jeví výhodné i v případě hodnocení nestejnoměrnosti toku vláken, jak bude ukázáno dále. Použití korelační funkce je významné nejen proto, že spolu s výkonovou spektrální hustotou kvantitativně charakterizují náhodný proces, ale též proto, že mají fyzikální interpretaci, která souvisí s přenosem energie v lineárních dynamických systémech. S ohledem na uvedenou významnost této charakteristiky budeme se jí zabývat obšírněji.

5.7.1 Definice a vlastnosti korelační funkce

Momenty prvního řádu náhodných procesů neposkytují žádné informace o souvislosti hodnot v různých okamžicích. Takovou informaci pro dva různé okamžiky dává moment druhého řádu, jímž je korelační funkce. Slouží-li k popisu statistických vlastností jednoho náhodného procesu, označuje se názvem autokorelační funkce (dále jen AKF), popisuje-li

statistickou závislost dvou různých náhodných procesů, označuje se názvem vzájemná korelační funkce. Stejně jako u momentů prvního řádu je i korelační funkce definována jednak jako příslušná střední hodnota souboru realizací (matematická naděje), jednak jako odpovídající střední hodnota v čase.

AKF souboru realizací náhodného procesu $X(t)$ pro dva různé okamžiky t_1 a t_2 , přičemž druhý je vzdálen od prvního o $\tau = t_2 - t_1$

$$R_X(t_1, t_1 + \tau) = E[X(t_2) \cdot X(t_1)] = E[X(t_1) \cdot X(t_1 + \tau)] \quad (81)$$

pro centrovanou náhodnou funkci

$$K_X(t_1, t_2) = E\{[X(t_1) - m_X(t_1)][X(t_2) - m_X(t_2)]\} \quad (82)$$

kde $m_X(t)$ jsou odpovídající střední hodnoty. Mezi funkcemi (81) a (82) platí vztah

$$R_X(t_1, t_2 + \tau) = K_X(t_1, t_1 + \tau) + m_X(t) \cdot m_X(t + \tau) \quad (83)$$

Je-li náhodný proces stacionární, byť i v širším smyslu, pak AKF je funkcí pouze τ , tj. závisí na vzdálenosti druhého časového okamžiku od prvního, avšak ne na poloze prvního

$$K_X(\tau) = E\{[X(t) - m_X][X(t + \tau) - m_X]\} \quad (84)$$

U stacionárních náhodných procesů bez periodické složky je pro

$$K_X(\pm \infty) = 0 \quad (85)$$

podle vztahu (3)

$$R_X(\pm \infty) = m_X^2 \quad (86)$$

Pod pojmem AKF se rovněž rozumí moment druhého řádu v čase realizace stacionárního náhodného procesu $x(t)$

$$R_x(\tau) = \overline{x(t) \cdot x(t+\tau)} \quad (87)$$

Pro realizaci, která je spojitou funkcí času, je to

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot x(t+\tau) dt \quad (88)$$

U ergodického náhodného procesu $X(t)$ je AKF souboru rovna AKF v čase (87)

$$E [x(t) \cdot x(t+\tau)] = \overline{x(t) \cdot x(t+\tau)} \quad (89)$$

$$R'_x(\tau) = R_x(\tau) \quad ; \quad K'_x(\tau) = K_x(\tau) \quad (90)$$

V praxi se velmi často pracuje s tzv. normovanou AKF, která je definována vztahem

$$\rho_x(\tau) = \frac{R_x(\tau)}{R_x(0)} \quad -1 \leq \rho_x(\tau) \leq 1 \quad (91)$$

Další vlastnosti AKF stacionárního náhodného procesu:

$$a) \quad R_x(\tau) = R_x(-\tau) \quad (92)$$

AKF je sudou funkcí argumentu τ

$$b) \quad |R_x(\tau)| \leq R_x(0) \quad (93)$$

Hodnota AKF má své maximum pro $\tau = 0$

$$c) \quad R_x(0) = \overline{x^2} \quad (94)$$

Jak vyplývá z definičního vztahu (87), event. (88), pro $\tau = 0$ je AKF rovna střední hodnotě z kvadrátu náhodné funkce, což pro centrovanou funkci představuje hodnotu rozptylu.

d) Obsahuje-li náhodná funkce $X(t)$ stejnosměrnou složku X_0 a složku $n(t)$ se střední hodnotou nulovou, pak platí

$$R_x(\tau) = X_0^2 + R_n(\tau) \quad (95)$$

- e) Jestliže náhodná funkce $X(t)$ se skládá z náhodné složky $n(t)$ a jedné periodické složky $X(t) = x_0 \sin(\omega t + \varphi) + n(t)$, pak platí pro AKF

$$R_x(\tau) = \frac{x_0^2}{2} \cos \omega \tau + R_n(\tau) \quad (96)$$

AKF periodické časové funkce obsahuje všechny složky frekvenčního spektra, které jsou v této časové funkci obsažené. Přitom se ztrácí jakákoliv informace o fázi. Bude-li např. signálová funkce složena ze směsi harmonických kmitů

$$X(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (97)$$

kde

- $X(t)$... je signálová funkce
- A_0 ... konstantní složka
- n ... index
- A_n ... amplituda jednotlivé frekvenční složky (harmonické)
- ω ... kruhová frekvence
- f ... frekvence
- φ ... fázový úhel

pak při zanedbání zbytkového členu dostaneme pro AKF

$$R_x(\tau) = \frac{A_0^2}{4} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} A_n^2 \cos n\omega\tau \quad (98)$$

Zbytkový člen vzniká v důsledku konečné délky vyhodnocovaného signálu. Můžeme ho téměř ve všech případech zanedbat. Zajímavá je skutečnost, že AKF vykazuje periodu, která odpovídá perioditě signálu.

- f) Jestliže $X(t)$ neobsahuje periodickou ani stejnosměrnou složku, potom je

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} R_x(\tau) = 0 \quad (99)$$

- g) Fourierovou transformací AKF je výkonová spektrální hustota. AKF a výkonová spektrální hustota mají mezi sebou vztah obecně vyjádřený Wiener-Chinčinovými rovnicemi:

v komplexním tvaru

$$R(\tau) = \int_0^{\infty} G(\omega) \cdot e^{j\omega\tau} d\omega \quad (100)$$

$$G(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R(\tau) \cdot e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (101)$$

kde $G(\omega)$ je výkonová spektrální hustota.

- h) Jako charakteristická hodnota AKF se definuje interval korelace

$$\tau_k = \int_0^{\infty} \rho_x(\tau) d\tau \quad (102)$$

Důležitou hodnotou je maximální interval korelace

$\tau_{k \max}$; je to taková hodnota τ , při níž má funkce $\rho_x(\tau)$ hodnotu menší než předem zvolené libovolně malé ε , např.
 $\varepsilon = 0,05$

$$\rho(\tau_{k \max}) < \varepsilon \quad (103)$$

Veličina τ_k dává orientační představu o tom, na jakém časovém intervalu je ještě významná korelace mezi znaky náhodného procesu.

5.7.2 Autokorelační funkce fotoelektrického obrazu toku vláken

Na základě předchozí analýzy budeme považovat fotoelektrický obraz toku vláken v dopravním kanále spřádací jednotky za transformovanou náhodnou funkci jemnosti $U_{T2}(t)$ a provedeme analýzu AKF tohoto signálu.

Měření AKF

K měření AKF byl použit analogový korelátor dánské firmy DISA, systém TCA. Celá měřicí souprava se skládá z těchto částí:

- vlastní analogový korelátor typ 55 D 75
- zpožďovací jednotka typ 55 D 75
- řídicí jednotka typ 52 B 01
- měřicí magnetofon Lyrec TR 61
- souřadnicový zapisovač XY

Technická data

Korelátor zpracovává vstupní signály $f_A(t)$ a $f_B(t)$ podle vztahu

$$R(\tau) = \overline{f_A(t) \cdot f_B(t+\tau)}$$

$$\rho(\tau) = \frac{\overline{f_A(t) \cdot f_B(t+\tau)}}{\sqrt{\overline{f_A(t)^2}} \cdot \sqrt{\overline{f_B(t+\tau)^2}}}$$

Zpoždění v rozsahu: 0 - 0,1 ms; 0 - 1 ms; 0 - 10 ms;
0 - 30 ms; 0 - 100 ms

Frekvenční rozsah : 1,5 Hz ÷ 700 kHz

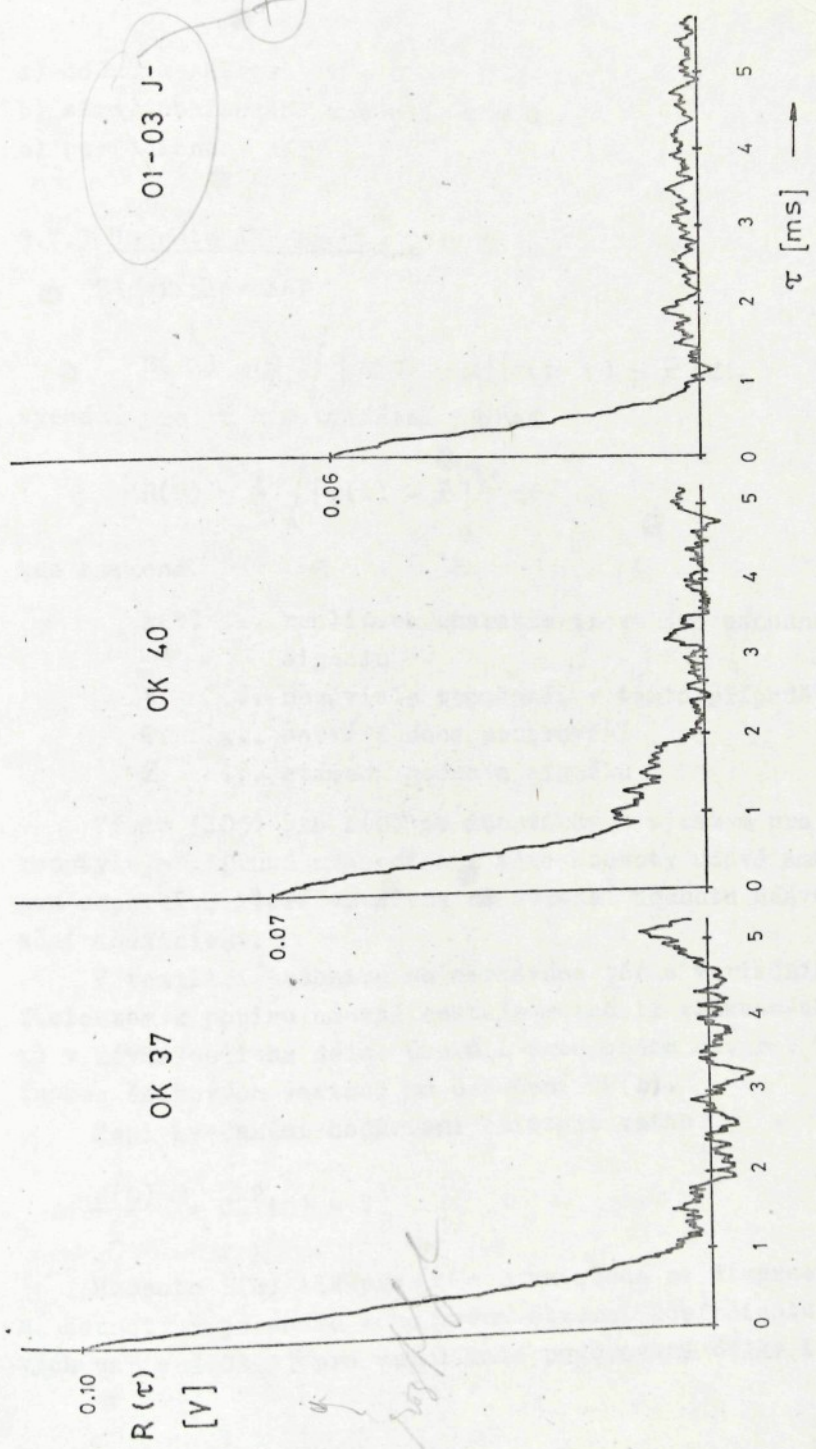
Přesnost výstupního napětí pro $\rho(\tau)$ je $\pm 0,5$ % maximální výstupní hodnoty

Přesnost výstupního napětí pro $R(\tau)$ je ± 1 % maximální výstupní hodnoty

Na obr. 37 a, b, c jsou uvedeny ukázky naměřených AKF při ojednocování bavlny. Z technologického hlediska se jednotlivé případy liší pouze typem potahu vyčesávacího válce.

Jak vyplývá z přehledu vlastností AKF, k nejdůležitějším informacím, které jsou v AKF obsaženy, patří:

01-03 J-
+



c

b

a

Obr. 37

- a) hodnota AKF pro $\tau = 0$
- b) strmý pokles AKF v okolí $\tau = 0$
- c) periodičnost AKF

5.7.3 Hodnota AKF pro $\tau = 0$

Z definice AKF

$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - \bar{x}][x(t+\tau) - \bar{x}] dt \quad (104)$$

vychází pro $\tau = 0$ zvláštní případ

$$R(0) = \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - \bar{x}]^2 dt \quad (105)$$

kde znamená

- $x(t)$... realizace charakterizovaného náhodného signálu
- t ... nezávisle proměnná, v tomto případě čas
- T ... celková doba pozorování
- $\bar{x}$... střední hodnota signálu

Výraz (105) pro $R(0)$ je identický s výrazem pro určení rozptylu s^2 . Druhá odmocnina z této hodnoty udává směrodatnou odchylku, která vztažena na střední hodnotu udává variační koeficient.

V textilní technice se setkáváme též s variačním koeficientem k popisu hmotné nestejnoměrnosti vláknenných útvarů v závislosti na délce úseku L zkoumaného útvaru. Tato funkce délkových variací má označení $CB(L)$.

Mezi uvedenými hodnotami existuje vztah

$$\frac{R(0)}{\bar{x}^2} = CB^2(0) = V^2 \quad (106)$$

Hodnota $R(0)$ AKF pro $\tau = 0$ vztažená na čtverec střední hodnoty $\bar{x}$ je podle toho rovna čtverci koeficientu délkových variací $CB(L)$ pro velmi malé pozorované délky $L \rightarrow 0$.

Exaktní hodnota pro $L = 0$ nemůže být zjištěna z důvodů technických podmíněných měřicím systémem.

Měřený signál může být stanoven vždy jen pro snímané délky $L \geq 5$ mm. To odpovídá určitému klouzavému průměru, čímž jsou tlumeny signálové složky vyšších frekvencí a směrodatná odchylka se snižuje.

Jak reaguje hodnota AKF $R(0)$ na změny v ojednocování ilustruje obr. 37, kde jsou zakresleny tři AKF a, b, c. Křivka c reprezentuje AKF dodávky při ojednocování bavlny vyčesávacím válečkem s jehličkovým potahem typ 01-03, křivka b s potahem OK 40 a křivka a s potahem OK 37. Z obrázku je zřejmý rozdíl v rozptylu u jednotlivých případů. Na základě získané informace lze učinit závěr, že jehličkový potah v daných technologických parametrech vykazuje z hlediska stejnoměrnosti nejlepší výsledky.

5.7.4 Strmý pokles AKF v okolí $\tau = 0$

Průběh AKF náhodných signálů lze zpravidla vyjádřit analyticky výrazem

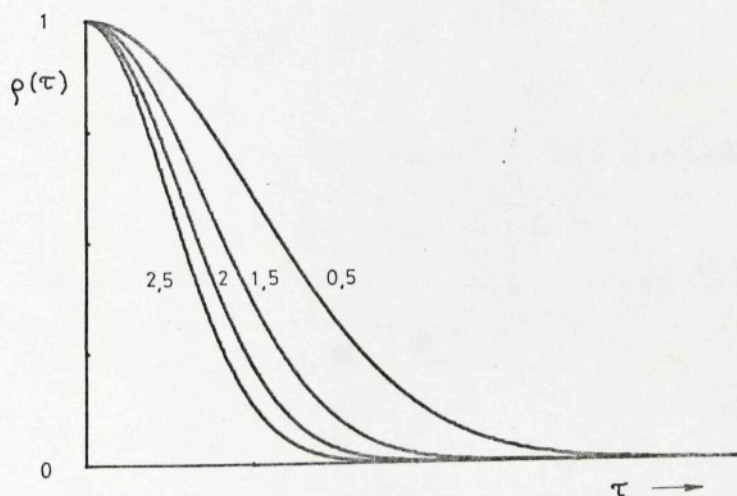
$$R(\tau) \sim e^{-a \cdot \tau^2} \quad (107)$$

Graficky je tato závislost zobrazena na obr. 38 pro různé konstanty a. Již na první pohled je patrná podobnost těchto průběhů s průběhem naměřené AKF v obr. 37. Později bude ještě ukázáno, že lze najít analytické vyjádření naměřené AKF nejen v obecné podobě, ale pro konkrétní případy včetně koeficientů s přesností předem zvolenou.

Jak je zřejmé z obrázků, má AKF náhodného signálu pro hodnoty τ v okolí nuly velmi strmý průběh. Tento charakteristický znak vedl k tomu, že se zkoumalo, jaké informace můžeme ze sklonu AKF v okolí počátku získat. Tak např. pozorování v oblasti analýzy šumového signálu po průchodu dolnofrekvenční propustí ukázala, že AKF má strmost tím větší, čím vyšší je frekvenční hranice šumového signálu /23/.

Z toho lze usuzovat, že průběh AKF pro malá τ je ovlivňován podílem vysokofrekvenčních složek signálu. Této interpretace použil Osmin /24/ pro posouzení spřádacího procesu, při kterém byl měněn průtah. Pokusy ukázaly strmější průběh AKF pro malá τ při rostoucím průtahu.

To, co bylo dosud řečeno, lze shrnout v konstatování: čím strmější je pokles AKF v oblasti malých τ , tím vyšší je obsah silně vyjádřených vysokofrekvenčních poruchových složek v signálu.



Obr. 38

V našem případě je analyzovaný signál obrazu reálného jevu, jinými slovy, vlastnosti signálu jsou odrazem vlastností jevu. V tomto případě frekvenční a amplitudové složení signálu má svůj původ v toku vláken, jejich počtu,

délce, ojednocení a rychlosti. Budeme se proto zajímat, existuje-li vztah mezi strmostí AKF pro malá τ a vlastnostmi vláknenného toku.

Podle prací Brenyho /25/ a Giesekuse /26/ existuje souvislost mezi strmým poklesem AKF příze a staplovým diagramem vláknenného materiálu. Rovněž Wegener /27/ ukazuje, že je možné z průběhu AKF dělat zpětné závěry na délky použitých vláken.

Na uvedenou interpretaci strmého poklesu AKF lze usuzovat rovněž z průběhu AKF ideálního svazku vláken. AKF pro takovýto případ má tvar /28/

$$\rho(u) = \frac{1}{\bar{l}} \int_{l=u}^{\infty} (1-u) dP(l) \quad (108)$$

kde jsou

$P(l)$... pravděpodobnost, se kterou se může vyskytnout vlákno kratší než l

$\bar{l}$... průměrná délka vlákna

Dá se dokázat, že autokorelační funkce ideálního svazku vláken je rovna křivce vláknenné třásně.

Pro vlákna stejné délky

$$\rho\left(\frac{u}{\bar{l}}\right) = 1 - \frac{u}{\bar{l}} \quad (109)$$

dále plyne pro případ rovnoměrného rozdělení četností délek vláken $0 < l \leq l_{\max}$

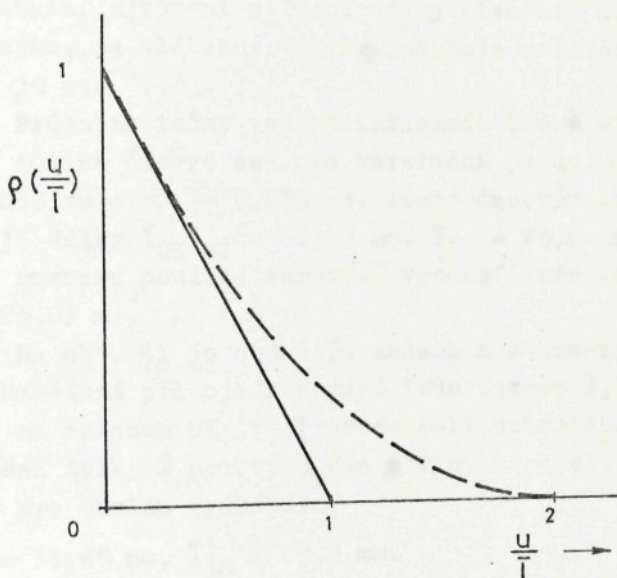
$$\rho\left(\frac{u}{\bar{l}}\right) = 1 - \frac{u}{\bar{l}} + \frac{1}{4} \left(\frac{u}{\bar{l}}\right)^2 \quad (110)$$

Křivka $\rho\left(\frac{u}{\bar{l}}\right)$ obou těchto zvláštních případů rozdělení délek je na obr. 39.

Křivka autokorelační funkce pro stejně dlouhá vlákna je přímka, která probíhá od $\rho(0) = 1$ až po

$\rho \left(\frac{l_{\max}}{l} = 1 \right) = 0$. Obecná křivka $\rho \left(\frac{u}{l} \right)$ má tangentu se sklonem

$$\left(\frac{d \rho \left(\frac{u}{l} \right)}{d \left(\frac{u}{l} \right)} \right)_{\frac{u}{l} = 0} = -1 \quad (111)$$



Obr. 39

Autokorelační funkce odvozená z obrazu reálného toku vláken se vyznačuje rovněž strmým poklesem pro malá τ , jak je vidět z obr. 37. Můžeme předpokládat, že i pro tento případ se ve strmém poklesu AKF bude odrážet vliv délky vlákna, event. stupeň ojednocení. Z velikosti AKF pro $\tau = 0$ v případech uvedených na obr. 37 vyplývá větší nestejnoměrnost

pro potah OK 37 vzhledem k jehličkovému potahu. Abychom mohli tyto případy srovnat z hlediska strmosti průběhů AKF, bylo provedeno měření AKF pro uvedené dva potahy se zaměřením na počáteční úsek, tj. pro $\tau = 0$ až 2 ms. Přepočtem na normovanou AKF dostaneme průběhy znázorněné na obr. 40. Ze vzájemného srovnání je vidět rozdíl ve strmosti autokorelačních funkcí a lze z toho usuzovat na dokonalejší ojednocení vláken, což je v souladu s údajem o nestejnoměrnosti, který vyplývá z hodnoty $R(0)$. Pro daný případ můžeme provést orientační zjištění střední délky elementu dodávky. Předpokládejme, že vlákenný tok se pohybuje střední rychlostí $\bar{v}_2 = 30 \text{ m.s}^{-1}$.

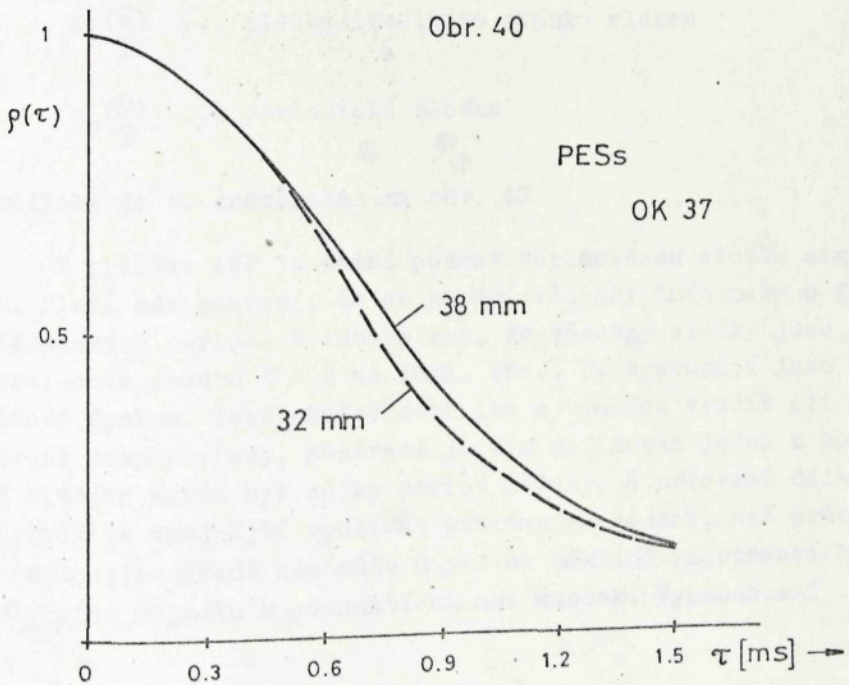
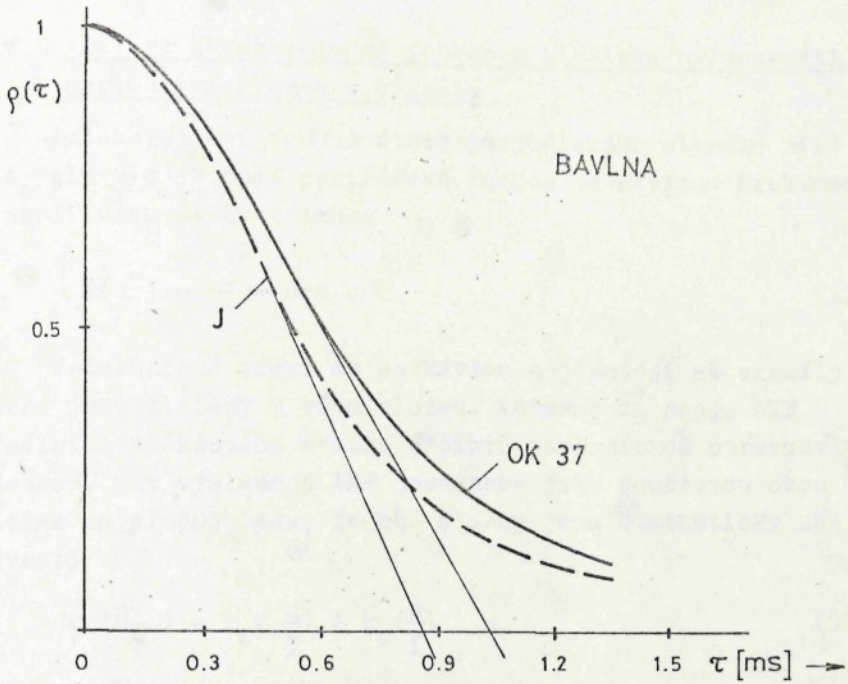
Průsečík tečny vedené inflexním bodem AKF vymezuje (viz obr. 40) na časové ose pro korelační posuv τ čas $\tau_{OK\ 37} = 1,035 \text{ ms}$ a $\tau_J = 0,855 \text{ ms}$. Těmto časovým intervalům odpovídají délky $\bar{I}_{OK\ 37} = 31,05 \text{ mm}$, $\bar{I}_J = 25,6 \text{ mm}$. Z laboratorního rozboru použité suroviny vychází střední délka vlákna $\bar{I} = 25,03 \text{ mm}$.

Na obr. 41 je obdobným způsobem zakreslena normovaná AKF naměřená při ojednocování PESs Dacron 1,7 dtex; 38 mm a 32 mm potahem OK 37. Provedeme-li orientační výpočet střední délky $\bar{I}$ pro tyto dva stříhy za stejných předpokladů jako pro bavlnu vychází:

$$\bar{I}_{32} = 34,65 \text{ mm}, \bar{I}_{38} = 40,5 \text{ mm}.$$

Z uvedených příkladů je vidět určitou souvislost se střední délkou použitého vlákna. Přesnost tohoto zjištění však váže na přesnost určení především střední rychlosti vlákenného toku. Kromě toho zde hraje roli, jak ukázal příklad z obr. 40, i stupeň ojednocení vláken.

Na základě provedené analýzy můžeme konstatovat, že strmý pokles autokorelační funkce dodávky při dané rychlosti je určován délkou vlákna a stupněm ojednocení.



5.7.5 Analýza autokorelační funkce z hlediska přítomnosti periodické složky v signálu

Autokorelační funkce čistě periodického signálu $x(t) = A_0 \sin \omega t$ je opět periodická funkce se stejnou frekvencí a amplitudou danou vztahem

$$R(\tau) = \frac{A_0^2}{2} \cos \omega \tau \quad (112)$$

V technické praxi se setkáváme nejčastěji se signály, které jsou složeny z více složek. Vezmeme-li např. AKF ideálního vláknenného svazku s čistě periodickou poruchovou složkou, pak výslednou AKF dostaneme jako součtovou obou složek za předpokladu, že obě složky jsou statisticky nezávislé

$$\rho\left(\frac{u}{I}\right) = k_i\left(\frac{u}{I}\right) + k_p\left(\frac{u}{I}\right) \quad (113)$$

kde

$k_i\left(\frac{u}{I}\right)$... složka ideálního svazku vláken

$k_p\left(\frac{u}{I}\right)$... periodická složka

Graficky je to znázorněno na obr. 42

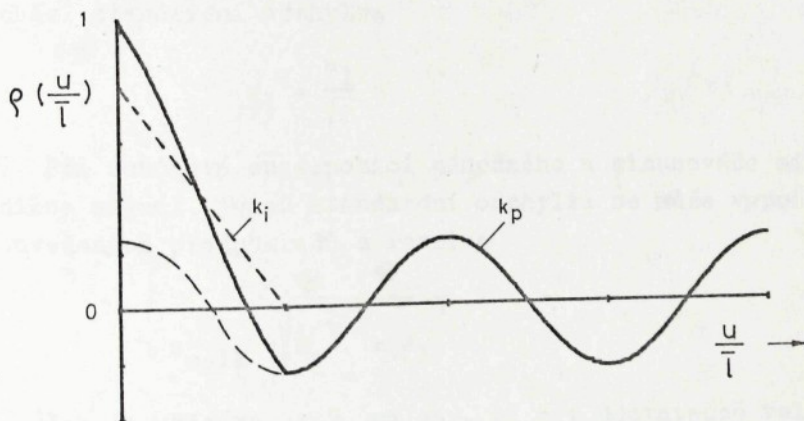
Z průběhu AKF je možné poznat periodickou složku signálu. Platí zde omezení, že se ztrácí všechny informace o fázi signálových period. Z toho plyne, že všechny složky jsou při korelačním posuvu $\tau = 0$ ve fázi, tzn., že vystupují jako cosinové funkce. Této skutečnosti lze s výhodou využít při určování doby periody, poněvadž je tím definován jeden z bodů, od kterého mohou být délky period měřeny. K určování délky periody je vhodnější využívat extrémních hodnot, než průchodů nulou, poněvadž zde může dojít na základě vlastností korelačního signálu k posunutí na ose úseček. Vyhodnocení

AKF vzhledem k výskytu periody je relativně jednoduché, obsahuje-li signál kromě náhodné složky jen jednu složku periodickou. V takovém případě změříme vzdálenost mezi dvěma sousedními extrémními hodnotami a délku periody vypočteme ze vztahu

$$l = v \cdot \tau_p \cdot k \quad / \text{cm}/ \quad (114)$$

kde je

- v ... rychlost snímání
- τ_p ... vzdálenost dvou extrémů periodické složky
- k ... konstanta přístroje



Obr. 42

Konstantu přístroje určíme buďto na základě technických údajů korelátoru nebo korelací signálu se známou délkou periody.

Kromě určení periodické složky v signálu je zajímavé určení amplitudy periodické složky a její příspěvek k celkové dispersi.

K určení amplitudy vyjdeme z normovaného průběhu AKF $\rho(\tau)$. Předpokládejme, že je známa hodnota $R(0)$ nenormované AKF. Jak bylo již uvedeno, $R(0)$ se rovná čtverci standardní odchylky signálu s .

Podle zákonů statistiky se mohou čtverce standardních odchylek sčítat, jestliže jsou základní signály nekorelovatelné, tj. jestliže nemají žádné společné komponenty. Této zákonitosti můžeme použít i v případě korelační analýzy.

Budiž dán náhodný signál se standardní odchylkou s_0 . Tomuto signálu je superponován druhý signál, např. sinusový s amplitudou a_1 . Pro sinusový signál s amplitudou a_1 vychází standardní odchylka

$$s_1 = \frac{a_1}{\sqrt{2}} \quad (115)$$

Při součtové superpozici náhodného a sinusového signálu vznikne signál, jehož standardní odchylka se může vypočítat za uvedených předpokladů z rovnice

$$s_{\text{celk}} = \sqrt{s_0^2 + s_1^2} \quad (116)$$

Jak je ukázáno např. na obr. 42 při dostatečně velkém τ má AKF náhodné složky již nulovou hodnotu a zbývá pouze AKF periodické složky signálu. Označíme-li odečtenou hodnotu amplitudy $\rho(\tau) = d$, můžeme určit amplitudu periodického signálu pomocí vztahu

$$\rho(\tau) = d = \frac{s_1^2}{R(0)} \quad (117)$$

což po dosazení za s_1 ze vztahu (115) dává výraz pro amplitudu

periodické složky signálu

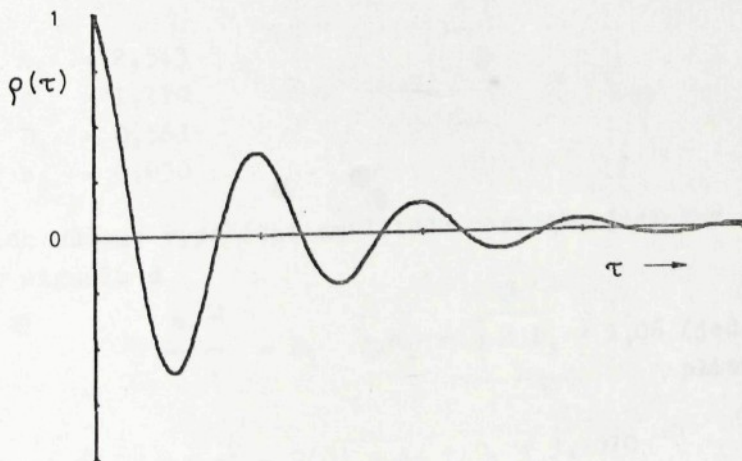
$$a_1 = \sqrt{2 R(0) \cdot d} \quad (\text{v jednotkách amplitudy}) \quad (118)$$

K uvedenému je nutné poznamenat, že v technické praxi vlivem přidavných náhodných poruch může být průběh AKF silně rušen, čímž se stává popsané přiřazení ještě těžší.

Častým případem bývá AKF náhodné funkce s tlumenými kmity. Taková korelační funkce bývá obvykle určena vztahem

$$R(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cdot \cos \omega \tau \quad (119)$$

Křivka této funkce se asymptoticky blíží k ose τ . V závislosti na poměru $\omega\alpha$ se mění charakter průběhu této funkce, viz obr. 43.



Obr. 43

Měření AKF skutečného toku vláken v dopravním kanále ojednocovacího ústrojí rotorové spřádací jednotky ukázalo, že ve většině případů je možné spolehlivě určit přítomnost periodické složky. Názorným příkladem je naměřená normovaná AKF na obr. 44. Abychom našli výraz pro analytické vyjádření, odpovídající naměřenému průběhu, byl vypracován program na počítač HP 9830 pro optimalizaci analytického vyjádření.

Vstupem pro zpracování byl graf AKF. Ten byl digitalizován bod po bodu. Takto vytvořený soubor dat zpracoval počítač metodou nejmenších čtverců. Ze souboru naměřených autokorelačních křivek vyšlo jako optimální analytické vyjádření ve tvaru

$$\rho(\tau) = A \cdot e^{-c\tau^2} + D \cdot \cos b\tau \quad (120)$$

Pro případ z obr. 44 vyšly koeficienty AKF $R(\tau)$ (nenormované):

$$A_1 = 2,543$$

$$c = 1,110$$

$$D_1 = 0,563$$

$$b = 0,830$$

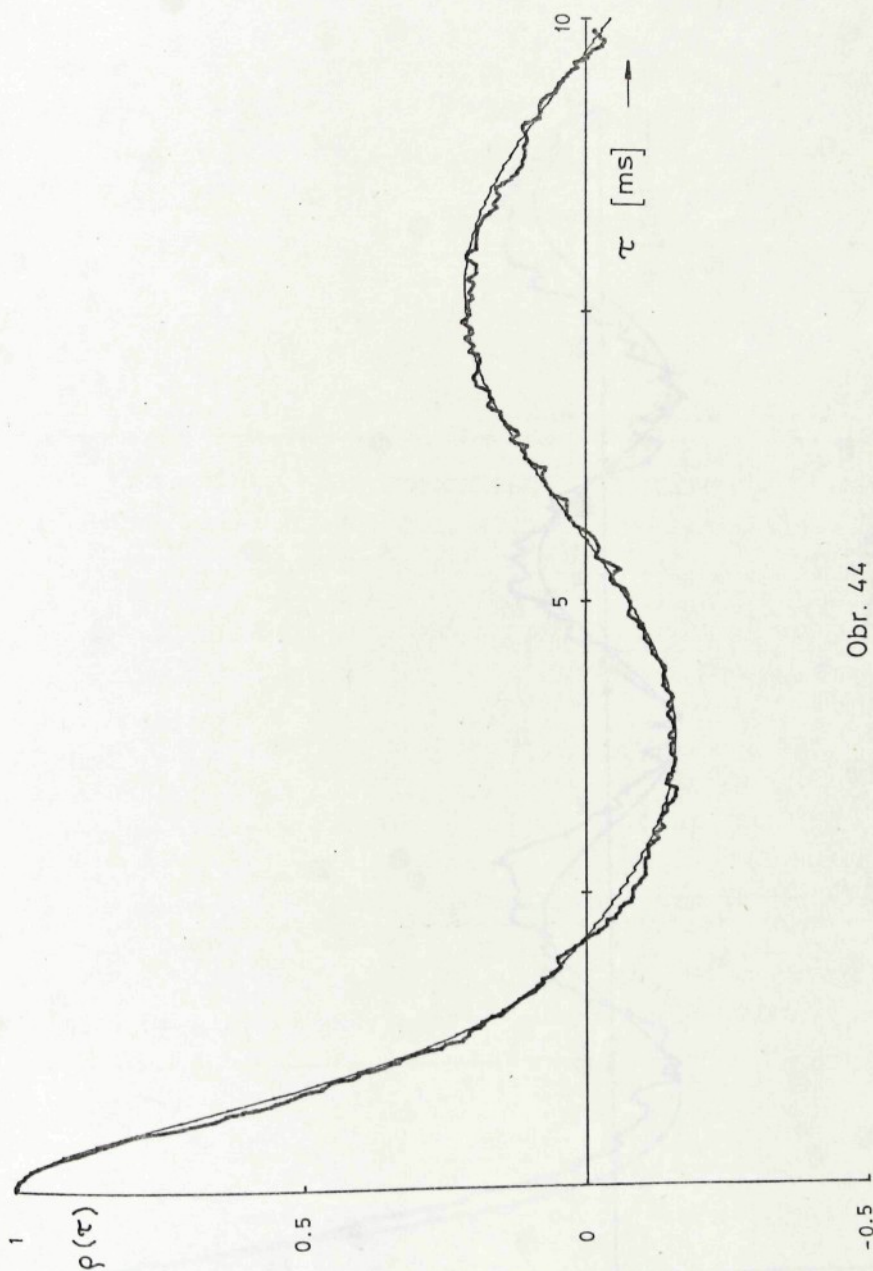
Z nich můžeme vypočítat amplitudu periodické složky vstupního signálu d

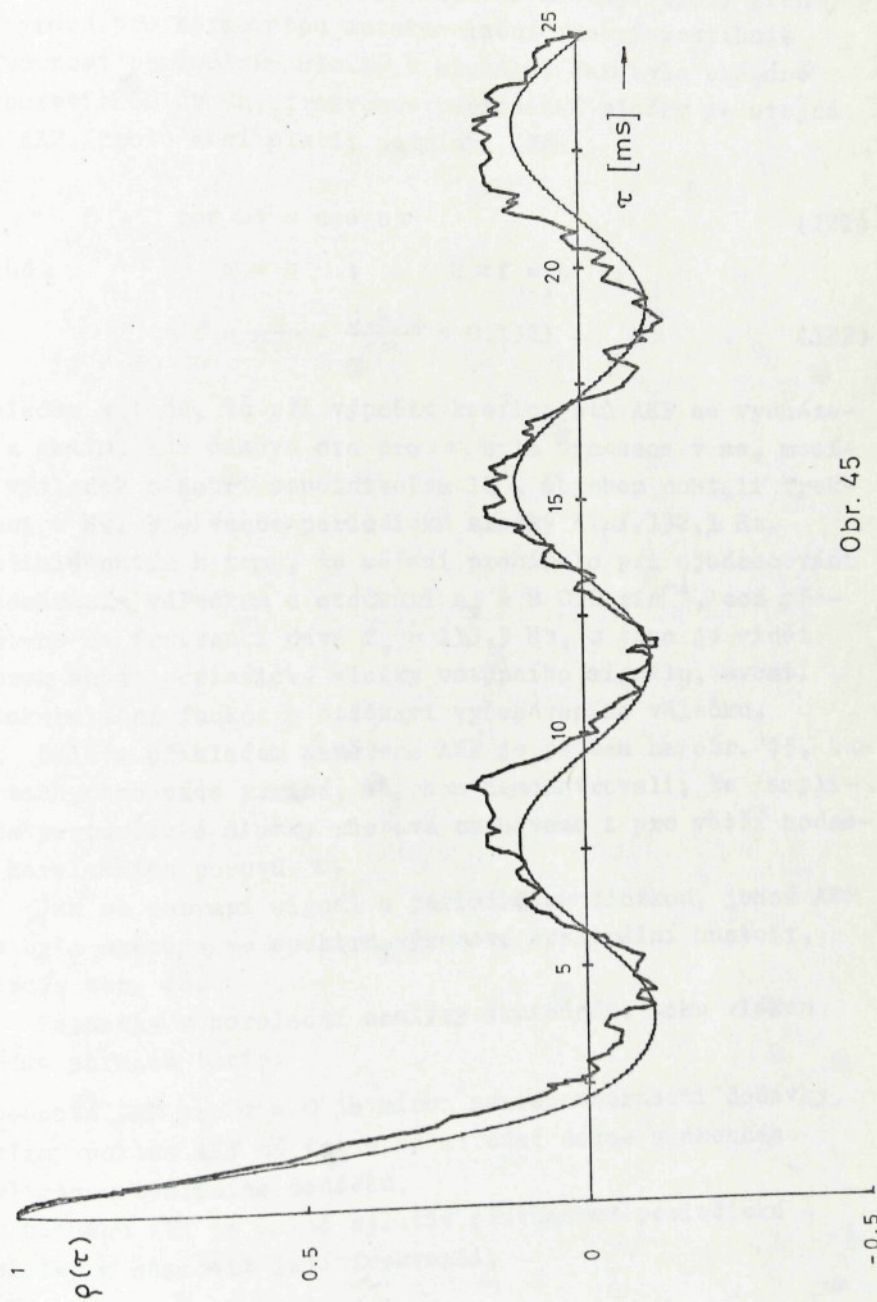
$$\frac{a_1^2}{2} = D_1 \quad a_1 = \sqrt{2 D_1} = 1,06 \text{ (jednotek amplitudy)}$$

$$\text{Celková disperse } s^2 = R(0) = A_1 + D_1 = 3,1070$$

$$\text{disperse periodické složky } s_1^2 = D_1 = 0,563$$

Periodická složka se na celkové dispersi podílí více než jednou pětinou.





Obr. 45

Nyní určíme frekvenci periodické složky. Druhý člen ve výrazu pro normovanou autokorelační funkci postihuje přítomnost periodické složky v signálu. Jak bylo ukázáno v teoretickém úvodu, frekvence periodické složky je stejná i u AKF, proto musí platit podmínka, že

$$\cos \omega t = \cos b \tau \quad (121)$$

odtud $\omega = b \quad ; \quad 2 \pi f = b$

$$f = \frac{b}{2\pi} = \frac{0,830}{2\pi} = 0,1321 \quad (122)$$

vzhledem k tomu, že při výpočtu koeficientů AKF se vycházelo z grafu, kde časová osa pro τ byla vynesena v ms, musíme výsledek násobit součinitelem 10^3 , abychom dostali frekvenci v Hz. Frekvence periodické složky činí 132,1 Hz.

S přihlédnutím k tomu, že měření probíhalo při ojednocování vyčesávacím válečkem s otáčkami $n_v = 8\,000 \text{ min}^{-1}$, což přepočteno na frekvenci dává $f_v = 133,3 \text{ Hz}$, z toho je vidět dobrou shodu periodické složky vstupního signálu, event. autokorelační funkce s otáčkami vyčesávacího válečku.

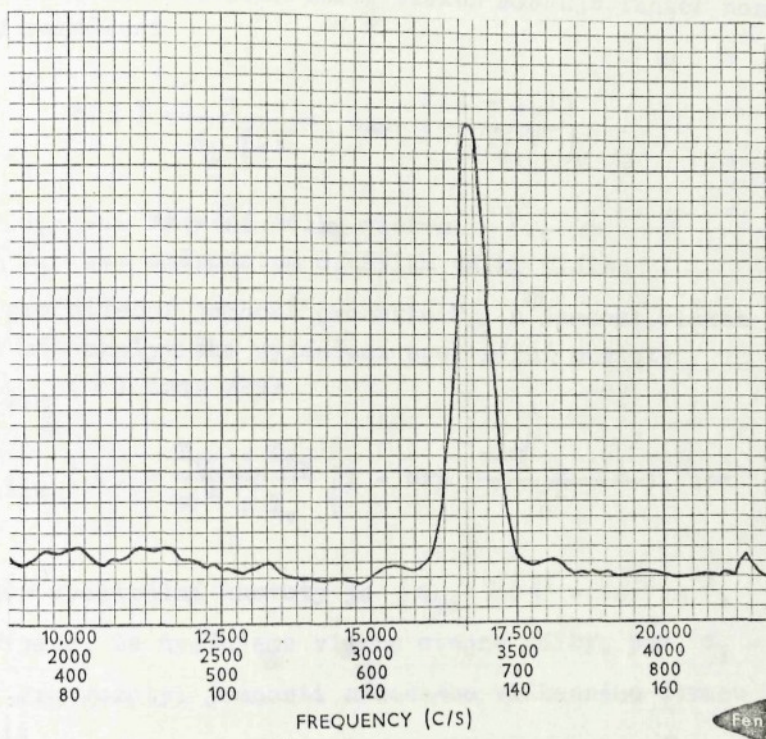
Dalším příkladem naměřené AKF je průběh na obr. 45, kde je zachyceno více period, abychom demonstrovali, že amplituda periodické složky zůstává zachována i pro větší hodnoty korelačního posuvu τ .

Jak se zobrazí signál s periodickou složkou, jehož AKF zde byla ukázána ve spektru výkonové spektrální hustoty, ukazuje obr. 46.

Poznatky z korelační analýzy skutečného toku vláken můžeme shrnout takto:

- hodnota AKF pro $\tau = 0$ je mírou nestejnoměrnosti dodávky,
- strmý pokles AKF má vztah ke střední délce vláknenného elementu tvořícího dodávku,
- z průběhu AKF je možno zjistit přítomnost periodické složky a stanovit její frekvenci,

- průběh AKF s periodickou složkou lze analyticky vyjádřit výrazem (120),
- výskyt periodické složky s frekvencí odpovídající otáčkám vyčesávacího válečku je typický pro vinuté pilkové potahy.



Obr. 46

5.8 Spektrální analýza

Spektrální charakteristiky v obecné podobě, jak byly uvedeny v předchozí kapitole, se dají s výhodou využít i při studiu nestejnoměrnosti lineárních vlákných útvarů. Touto aplikací se zabývají autoři Sevost'janov, Wegener, Kawabata a další /29/, /30/, /31/. Modelem náhodného svazku

vláken je ideální vláknenný útvar definovaný v kapitole 2.4.1.

Výkonová spektrální hustota náhodného svazku vláken je závislá na tvaru staplového diagramu. Budeme-li předpokládat, že rozdělení délek vláken sleduje funkci normálního rozdělení

$$P(l) = \frac{1}{\sigma_l \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(l - l_v)^2}{2\sigma_l^2} \right\} \quad (123)$$

kde

l_v ... střední délka vláken

σ_l ... směrodatná odchylka délky vláken

pak pro střední jemnost produktu T_{ti} a jemnost vláken T_{tv} bude mít analytické vyjádření spektrální hustoty

$G_{Ti \text{ lim}}(\lambda)$ tvar /29/

$$G_{Ti \text{ lim}}(\lambda) = \frac{T_{ti} \cdot T_{tv}}{\pi^2 \cdot l_v} \left[1 - \exp \left(-\frac{2\pi^2 \cdot \sigma_l^2}{\lambda^2} \right) \cdot \cos \frac{2\pi \cdot l_v}{\lambda} \right] \quad (124)$$

Rozměr spektrální hustoty je $[G_{Ti}(\lambda)] = \text{tex}^2 \cdot \text{m}^{-1}$.

V případě, že uvažujeme vlákna stejné délky, pak $\sigma_l = 0$.

Pro rozptyl jemnosti náhodného vláknenného útvaru bude platit

$$\sigma_{Ti \text{ lim}}^2 = \int_0^\infty G_{Ti \text{ lim}}(\lambda) \cdot d\lambda \quad (125)$$

Modelový případ s Poissonovým rozdělením počtu předních konců vláken na jednotku délky má

$$\sigma_{Ti \text{ lim}}^2 = T_{tv}^2 \cdot N ; \quad T_{ti} = T_{tv} \cdot N \quad (126)$$

kde N je střední počet vláken v průřezu. Odtud lze odvodit vztah pro variační koeficient náhodného svazku vláken stejné jemnosti

$$V_{\text{lim}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (127)$$

Zjišťovat průběh spektra - spektrální charakteristiky můžeme prakticky jen u elektrických signálů, na které jsme převedli originál, tj. v našem případě tok vláken. Měřicí přístroje pro frekvenční rozbor časově proměnných signálů - -spektrální analyzátory, se dnes uplatňují v měřicí technice mnoha oborů.

Z oblasti zkoušení textilních materiálů je znám spektrogram Uster, jako přídatné zařízení k měřicí nestejnoměrnosti Uster. Ten poskytuje diagram průměrné velikosti amplitud jako funkci vlnové délky. Jeho nejčastější použití je ke zjišťování periodických vad. Pro mnohé účely má nevýhodu v nedostatečné rozlišovací schopnosti. Spektrogram Uster nemůže být považován za spektrum nestejnoměrnosti ve smyslu funkce spektrální hustoty a jeho transformace na funkci podobného tvaru může představovat nejvýše první přiblížení.

K analýze signálu ze snímače FOMED byl použit frekvenční analyzátor firmy Brüel & Kjaer, typ 2107. Princip činnosti a forma výstupu přístroje bude krátce popsána.

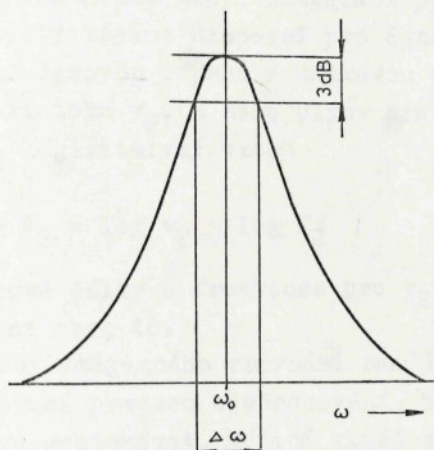
5.8.1 Frekvenční analyzátor B & K typ 2107

Analyzátor frekvencí typu 2107 je přístroj pracující s konstantní procentuální šířkou pásma, což znamená, že poměr měřené šířky pásma $\Delta\omega$ k nastavené frekvenci f_0 , $\Delta\omega/\omega_0$ je konstantní. Šířka propustného pásma $\Delta\omega$ bývá nejčastěji definována poklesem přenosu o 3 dB, jak ukazuje obr. 47.

Šíře pásma se dá volit od 6 % do 20 % střední frekvence ω_0 . Analyzátor pracuje v rozsahu 20 až 20 000 Hz, který je rozdělen do šesti menších rozsahů. K analyzátoru lze připojit hladinový zapisovač B & K, typ 2305, který v tomto spojení umožňuje automatický frekvenční rozbor a zápis efektivní hodnoty signálu za filtrem. Uvažujeme-li že vstupním napětím je fotoelektrický obraz dodávky $U_{T2}(t)$, pak při

nastavení analyzátoru na frekvenci f dostaneme na výstupu hodnotu směrodatné odchylky $\sigma_{U_{T2}}(f)$ podle vztahu

$$U_{T2}(f) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_{T2}^2(t, f) \cdot dt} \quad (128)$$



Obr. 47

Mezi spektrální hustotou fotoelektrického obrazu dodávky $G_{UT2}(f)$ a údajem analyzátoru platí

$$G_{UT2}(f) = \frac{\sigma_{UT2}^2(f)}{B} \quad (129)$$

kde $B = \Delta\omega$, je šířka pásma určená vztahem

$$B = c \cdot f \quad (130)$$

kde

c ... zvolená procentuální šíře pásma

f ... středová okamžitá frekvence filtru

Známe-li průběh spektrální hustoty $G_{UT2}(f)$, je možné odvodit průběh spektra směrodatných odchylek

$$\sigma_{UT2}(f) = \sqrt{c \cdot f \cdot G_{UT2}(f)} \quad (131)$$

Nevýhodou analyzátoru typ 2107 je, že stupnice frekvencí není lineární a nelze tedy integrací pod plochou křivky spektrální hustoty získat dispersi pro dané pásmo frekvencí.

Vztah mezi časovou funkcí a délkovou funkcí dodávky je dán rychlostí toku v_2 . Z něho plyne pro vlnovou délku λ_2 a frekvenci f_2 logaritmický vztah

$$\log \lambda_2 = \log v_2 - \log f_2 \quad (132)$$

Souvislost vlnové délky a frekvence pro $v_2 = 10 \text{ /m.s}^{-1}$ a 30 /m.s^{-1} je na obr. 48.

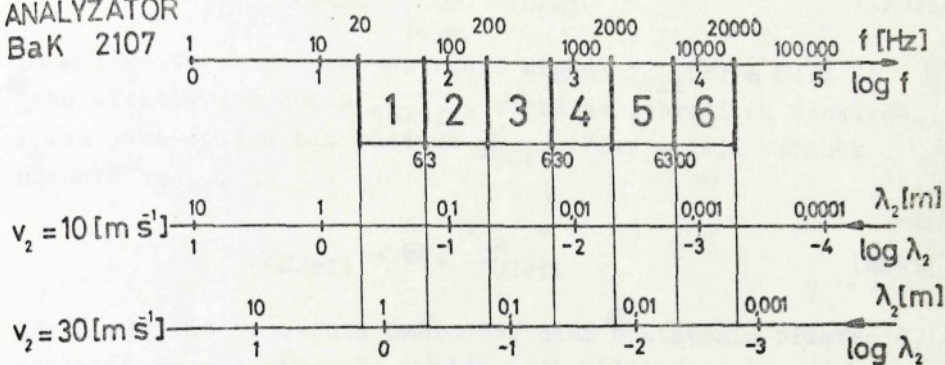
Pro potřeby vzájemného srovnání naměřených spektrogramů, při posuzování procesu ojednocování, bylo nutné celou měřicí soustavu ocejchovat. Měřicí kanál se skládá z přístroje FOMED, vlastního analyzátoru typ 2107 a úrovnového zapisovače, viz obr. 49. Přímé ocejchování vlákněným tokem definovaných vlastností není reálné, bylo tedy k tomuto účelu použito elektrického signálu sinusového průběhu.

Základem byla následující úvaha:

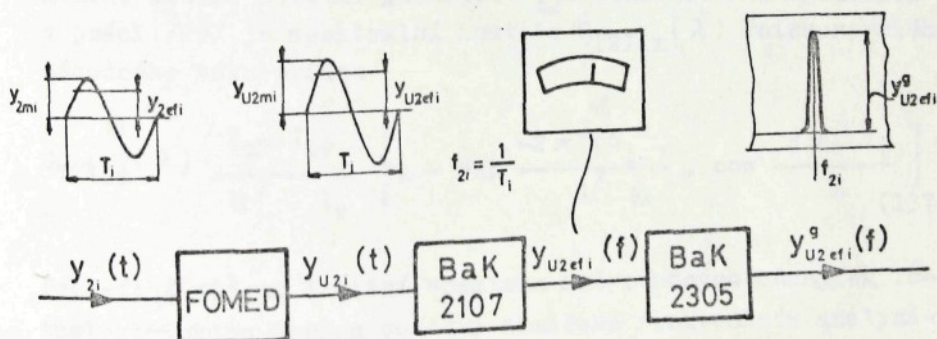
Nechť měřicím místem prochází izolovaná sinusová složka dodávky $y_{2i}(t)$. Její amplituda je Y_{2mi} a efektivní hodnota y_{2efi} . Ze snímače FOMED vystupuje její fotoelektrický obraz $y_{U2i}(t)$ o amplitudě Y_{U2mi} a efektivní hodnotě y_{U2efi} . Za předpokladu, že pracujeme v oblasti frekvencí, kde se neprojeví útlum přenosu čidla F_b , můžeme uvažovat vztah amplitud analogicky k výrazu

$$y_{U2mi} = K_{FD} \cdot y_{2mi} \quad (133)$$

ANALYZÁTOR
BaK 2107



Obr. 48



Obr. 49

při $y_{U2mi} = 2 y_{U2efi}$ (134)

je $y_{2mi} = \frac{1}{K_{FD}} \cdot y_{U2mi} = K_{DF} \cdot y_{U2mi}$ (135)

Do analyzátoru spektra vstupuje signál $y_{U2i}(t)$ a měří se jeho efektivní hodnota y_{U2efi} , která se zobrazí na spektrogramu jako špička o amplitudě y_{U2efi}^G /mm/ a její vztah k hodnotě y_{U2efi} je

$$y_{U2efi} = k \cdot y_{U2efi}^G \quad (136)$$

kde k je jeho konstanta úměrnosti daná nastavením přístrojů, analyzátoru a zapisovače a můžeme ji určit z odezvy na definovaný elektrický signál známé amplitudy a frekvence. Z uvedených vztahů je zřejmé, že spektrum získané na analyzátoru je možno považovat za spektrum směrodatných odchylek (efektivních hodnot) nebo též za spektrum amplitud.

Spektrum směrodatných odchylek náhodné části toku vláken v přírodním kanále bude mít za svou limitu spektrum směrodatných odchylek Poissonovského modelu náhodného pramene o stejné střední jemnosti T_{t2} . Podle vztahů uvedených v práci /29/ je spektrální hustota $G_{T2lim}(\lambda)$ Poissonovského náhodného toku vláken

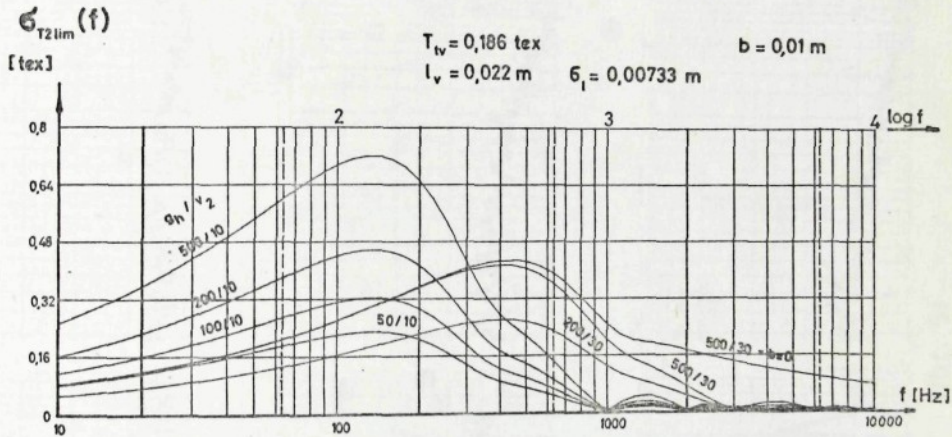
$$G_{T2lim}(\lambda) = \frac{T_{t2} \cdot T_{tv}}{\pi^2 \cdot l_v} \left[1 - \exp \frac{-2\pi^2 \cdot l_v^2}{\lambda^2} \cdot \cos \frac{2\pi \cdot l_v}{\lambda} \right] \quad (137)$$

Podle (131) můžeme limitní spektrum směrodatných odchylek fotoelektrického obrazu dodávky naměřené frekvenčním analyzátozem typ 2107, vyjádřit vztahem

$$G_{UT2lim}(f) = \sqrt{c \cdot f \cdot G_{UT2lim}(f)} \quad (138)$$

kde $G_{UT2lim}(f)$ je spektrální hustota fotoelektrického obrazu Poissonovského toku vláken.

Na základě uvedených vztahů a s přihlédnutím k účinku konečné měřicí délky snímače FOMED - šterbinového efektu, byl proveden výpočet simulovaných spekter směrodatných odchylek Poissonovského toku vláken, jejichž spektrogramy jsou na obr. 50.



Obr. 50

Vstupní údaje byly následující:

jemnost vlákenného materiálu $T_{tv} = 0,186$ /tex/, střední délka $l_v = 0,022$ /m/, standardní odchylka délek $\sigma_1 = 0,33$ $l_v = 0,00733$ /m/. Rychlosti toku v_2 byly uvažovány ve dvou hodnotách $v_2 = 10$ /m.s⁻¹/ a $v_2 = 30$ /m.s⁻¹/. Délka měřicího pole snímače $b = 0,01$ /m/.

OK 15

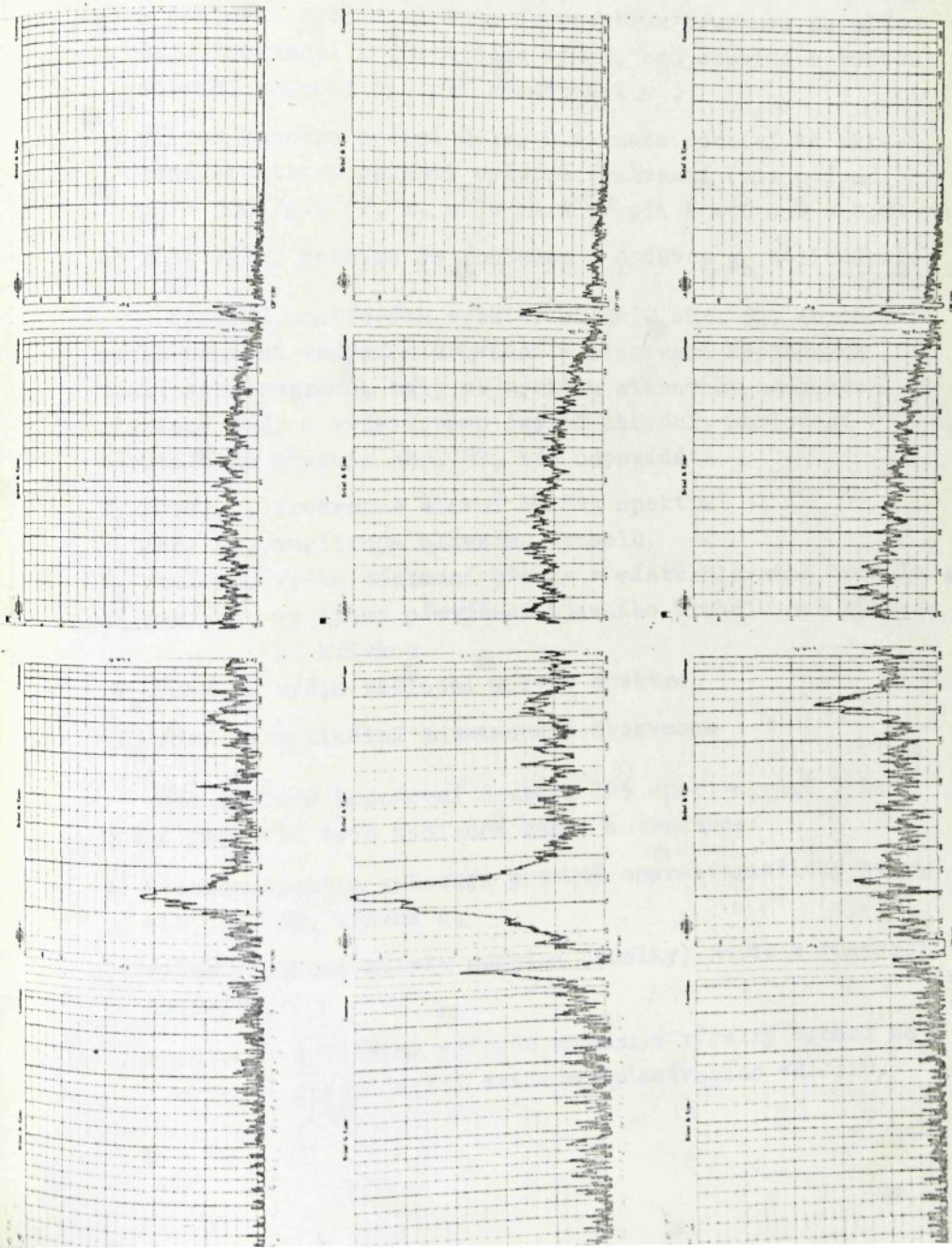
PROSTOR: 6000 m²/min
 SLOŽ: 11
 PRAMEN: 60 0,20 m²/s

PROSTOR: 60 60 (1m 20, 11, 6000)
 ANALIZATOR: ROZSAH 0,3

- 127 -

60 30
 ROZSAH 0,3

60 30
 ROZSAH 1



Obr. 51

Z průběhu vypočtených spekter na obr. 50 můžeme formulovat následující poznatky:

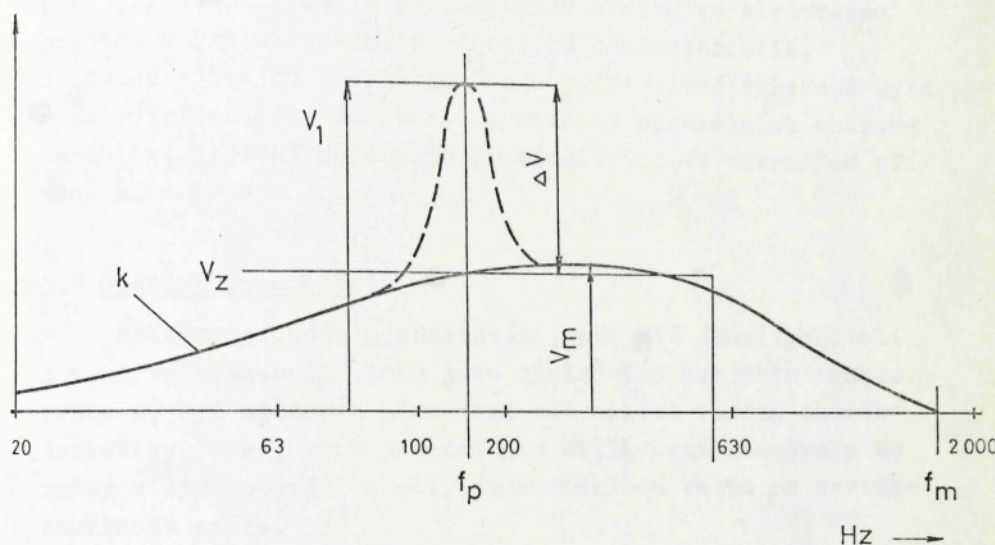
- a) s poklesem rychlosti toku se spektrum přesouvá do nižších frekvencí a roste jeho výška, což souvisí s růstem střední hodnoty T_{t2} při zmenšování v_2 ,
- b) vlivem konečné měřicí délky b snímače dochází ke zkreslení spektra v oblasti vyšších frekvencí (viz případ $g_h = 500 / g \cdot h^{-1} /$, $v_2 = 30 / m \cdot s^{-1} /$ při $b = 0$ a $b = 0,01 / m /$,
- c) růst výšky spektra je vzhledem k dodávce g_h nelineární.

Příklad naměřených spekter ukazuje obr. 51. Abychom mohli provést vzájemné srovnání a stanovení společných znaků spektrogramů, byly ve spektru stanoveny charakteristické body a vyšetřováno jejich chování. Rozložení těchto bodů ukazuje obr. 52, kde odpovídá:

- f_p /Hz/ ... frekvence hlavní špičky spektra
- V_1 /mm/ ... amplituda hlavního vrcholu
- V_Z /mm/ ... výška základní křivky v místě hlavního vrcholu
- ΔV /mm/ ... velikost převýšení hlavního vrcholu nad základní křivkou
- V_m /mm/ .. výška základní křivky spektra
- f_m /Hz/ .. maximální zaznamenaná frekvence

Na základě hodnocení souboru 126 spektrogramů bylo možné stanovit tyto společné znaky a tendence:

- a) všechna spektra vykazují podobný charakteristický tvar, viz obr. 52, křivka k,
- b) výška základní křivky spektra (obálky) roste s rostoucí dodávkou,
- c) spektrum ve většině případů obsahuje výrazný vrchol na frekvenci odpovídající otáčkám vyčesávacího válečku.



Obr. 52

Přítomnost periodické složky v dodávce a tím i ve spektru se zatím nepodařilo jednoznačně objasnit. Jako nejpravděpodobnější příčina se jeví účinek šroubovicového vinutí pilkových potahů. U těchto případů dochází k rozčlenění trásně do proužků vymezených stěnami potahu. Vláknna jsou vedena ve směru stoupání šroubovice a v průběhu každé otáčky se část vláken dostane do oblasti čela potahu, kde nastává nekontrolované uvolňování vláken. Tuto hypotézu potvrzuje např. použití jehličkových potahů, což bylo demonstrováno na průběhu AKF v kapitole 5.7.3, obr. 37 c.

Praktické aplikace spektrální analýzy při vyšetřování

vlivu potahu vyčesávacího válečku, otáček, podávací rychlosti a geometrie ojednocovacího ústrojí, jsou uvedeny v práci /32/, /33/. Spektrální analýza má především význam při zjišťování výskytu periodických složek ve sledovaném procesu a pro stanovení přenosových charakteristik. Z důvodů vysokých nároků na čas a přístrojové vybavení byla spektrální analýza zařazena do skupiny speciálních charakteristik, jejichž měření se provádělo jen ve vybraných případech.

5.9 Četnost překročení

Analýza procesu ojednocování, při níž jsme vycházeli z analýzy vláknenného toku jako výsledného produktu tohoto procesu, byl sledován mimo jiné cíl nalézt vhodné charakteristiky, které by s požadovanou citlivostí reagovaly na změny v ojednocování a měly prokazatelnou vazbu na nestejnoměrnost příze.

Z dosud provedeného rozboru vyplývá, že takovou charakteristiku je nutné orientovat do oblastí poruchových jevů, které představují komplexy vláken několikanásobně převyšující střední hodnotu. Jinak řečeno, dostáváme se s hodnocením dodávky do pásma poruch, které na sebe bezprostředně nenavazují, jejich četnost je nižší a blíží se kategorii řídkých jevů.

Praktické zkoušky ukázaly, že uvedeným požadavkům vyhovuje charakteristika, kterou bychom mohli nazvat: počet průchodů, četnost překročení, event. četnost shluků. Jak bude ukázáno dále, nejlépe vystihuje podstatu zjišťování této charakteristiky název "četnost překročení". S obdobnou charakteristikou bylo možné se setkat ve strojírenství při hodnocení únavových jevů. V oblasti nestejnoměrnosti příze tuto charakteristiku zavádí Wegener /34/, 35/.

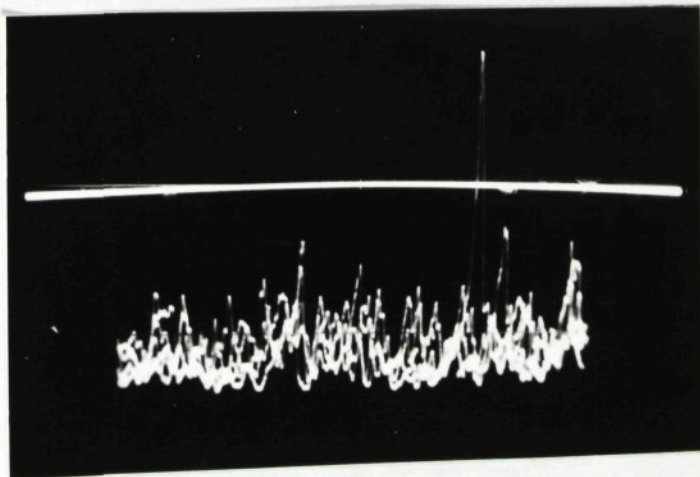
5.9.1 Definice četnosti překročení

Četnost překročení definujeme jako součet překročení určité prahové hodnoty měřeného elektrického napětí, které je obrazem jemnosti toku vláken, vztažený na určitou délku realizace - dobu měření.

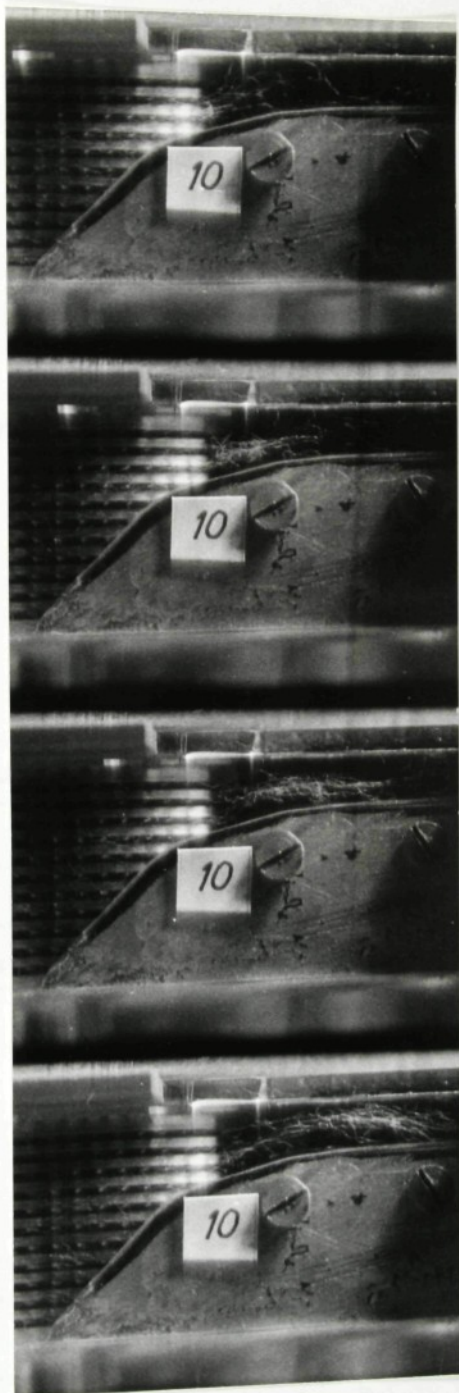
Prahovou úroveň, na které četnost překročení zjišťujeme, můžeme pro případ vláknenného toku stanovit buďto absolutně v rozsahu amplitud od 0 do $U_{T2}(t)_{\max}$, nebo jako veličinu relativní vztaženou na střední hodnotu.

V kapitole, která se zabývala přenosovými vlastnostmi snímače FOMED jsme si ukázali, že vztah mezi počtem vláken ve skupině a amplitudou obrazu je lineární závislost jen do určitého počtu vláken. Pro hodnoty vyšší, podobně jako u kapacitních snímačů, je nutné pro případy velkých poruch od této představy upustit. V každém případě však znamená enormní vzrůst úrovně elektrického napětí $U_{T2}(t)$ mimořádnou událost v dodávce nebo-li poruchu. Taková porucha může mít charakter skupiny více či méně ojednocených vláken, shluku vláken, nopků, nečistot či slupek apod.

Průběh fotoelektrického obrazu dodávky je zachycen na snímku z obrazovky osciloskopu, obr. 53, kde špičky převyšující zvolenou úroveň zobrazují poruchové jevy v dodávce.

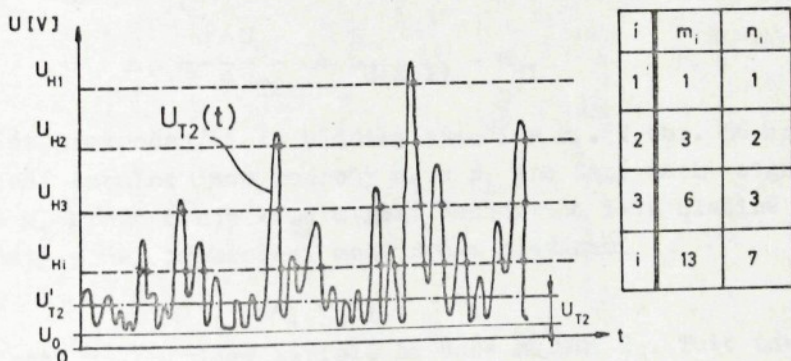


Obr. 53



Pro představu, jak takový komplex nerozvolněných vláken vypadá, je uveden snímek na obr. 54, kde jsou zachyceny jednotlivé fáze pohybu od výstupu z potahu vyčesávacího válce až po vstup do kanálu.

K zavedení dalších pojmů, s nimiž budeme dále pracovat, využijeme obr. 55, kde je schematicky znázorněn charakteristický průběh signálu a jsou zde vyznačeny i jednotlivé úrovně U_{Hi} pro zjišťování počtu překročení. Z povahy vyšetřovaného děje vyplývá, že signál obsahuje stejnoměrnou složku - má nenulovou střední hodnotu U_{T2} .



Obr. 55

Kromě toho je signál zatížen další stejnoměrnou složkou, která vzniká v důsledku nedokonalého pohlcení světelného toku v místě měřicí štěrbin. Tuto nežádoucí složku, označenou U_0 , je nutné kontrolovat při každém měření a provést příslušnou korekci.

Obrazem střední hodnoty jemnosti toku vláken je pak v obecném případě

$$\Delta U_{T2} = U_{T2} - U_0 \quad (139)$$

Relativní velikost obrazu shluku na určité hladině vztaženou k obrazu střední hodnoty je dána výrazem

$$P_{Hi} = \frac{U_{Hi} - U_0}{\Delta U_{T2}} = \frac{U_{Hi} - U_0}{U_{T2} - U_0} \quad (140)$$

Vynásobením hodnoty P_{Hi} 100 % dostaneme relativní velikost obrazu v procentech. Pro konstantní vzdálenost hladin ΔU_H platí

$$\Delta U_H = U_{H(i+1)} - U_{Hi} \quad (141)$$

$$\Delta p = \frac{\Delta U_H}{\Delta U_{T2}} = P_{H(i+1)} - P_{Hi} \quad (142)$$

Počet překročení i -té hladiny označíme m_i . V obr. 56 na připojené tabulce jsou hodnoty m_i a n_i pro daný úsek signálu, kde m_i představuje kumulativní četnost na i -té hladině a n_i prostý počet překročení mezi dvěma hladinami

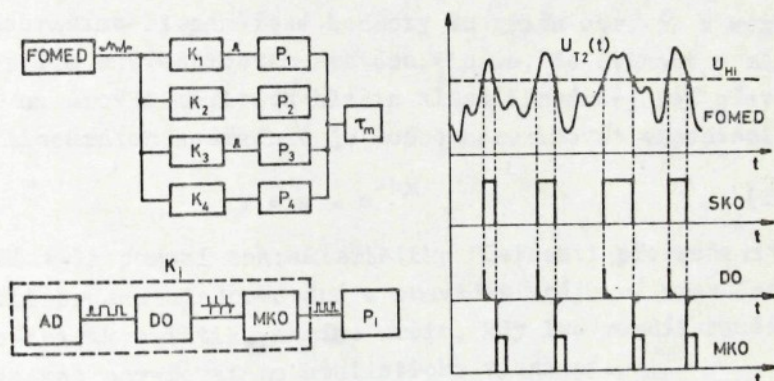
$$n_i = m_{i-1} - m_i \quad (143)$$

Hodnoty m_i , n_i jsou závislé na době měření T_m . Tuto závislost, která znemožňuje vzájemné porovnávání odstraníme, jestliže získané počty dělíme dobou měření nebo měříme vždy stejný časový úsek realizace náhodného procesu.

5.9.2 Amplitudový analyzátor

Pro účely zjišťování četnosti překročení předem zvolených hladin byl navržen a realizován čtyřkanálový amplitudový analyzátor, jehož principiální schéma je na obr. 56.

Funkci analyzátoru lze stručně charakterizovat takto: signál ze snímače FOMED se převádí současně na vstupy čtyř komparátorů s volitelnou hladinou komparace U_{Hi} . Jestliže analyzovaný signál překročí tuto hladinu, vznikne elektrický impuls, který je započítán připojeným čítačem. Úroveň hladin lze volit nezávisle podle potřeby. Vlastní měření probíhá v režimu s předvolbou času. Tím je dána možnost podle charakteru signálu nastavit takové podmínky, aby bylo dosaženo požadované spolehlivosti výsledků měření.



Obr. 56

5.9.3 Statistické vyhodnocení výsledků měření četnosti překročení

Měření četnosti překročení na reálném signálu při ojednocování bavlny potahem OK 37, $n_v = 7\,000\text{ min}^{-1}$, $g_n = 200\text{ g.h}^{-1}$, $Q_D = 2\text{ l.s}^{-1}$, dalo tyto výsledky /tabulka IV/.

Tab. IV.

hladina	I	II	III	IV
$U_{Hi} / V /$	3,0	4,6	5,7	7
P_{hi}	1,9	2,7	3,3	4,1
$\bar{m}_i$	1256	228	64	19
s_i	79,5	32,7	10	4,9
F_i	5,032	4,69	1,56	1,26

kde $\bar{m}_i$ je střední hodnota četnosti na příslušné hladině z deseti měření v době trvání 2 min. Střední hodnota signálu $\bar{U}_{T2}(t) = 1,7$ V. V posledním řádku jsou uvedeny vypočtené hodnoty F-testu z naměřených hodnot.

Zobrazíme-li naměřené hodnoty do grafu obr. 57 v semilogaritmickém souřadnicovém systému, vidíme, že četnost v závislosti na úrovni měřicích hladin klesá lineárně, což převedeno do lineárních souřadnic je možno aproximovat exponenciálou typu

$$y = a \cdot e^{-bx} \quad (144)$$

Máme-li pomocí charakteristiky "četnosti překročení" hodnotit proces ojednocování a provádět vzájemné srovnání těchto charakteristik, musíme určit, kdy lze rozdíl naměřených hodnot považovat za statisticky významný.

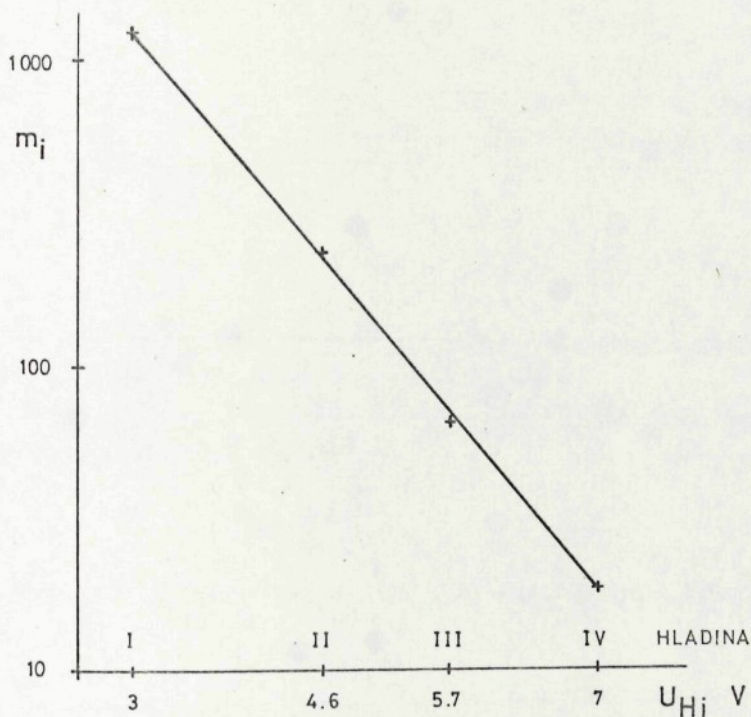
Pro výpočet mezi intervalu spolehlivosti výsledku měření je nutno znát zákon rozdělení. Pro případ velkých poruch v dodávce, tedy i velkých amplitud signálu, předpokládáme rozdělení Poissonovo. Pomocí F-testu ověříme pro hodnoty uvedené v tabulce IV. platnost Poissonova rozdělení.

Hodnota F_i je definována podílem dvou dispersí. Pro rozdělení Poissonovo platí

$$s_i^2 = \bar{m}_i \quad (145)$$

$$a) \quad F_i = \frac{\bar{m}_i}{s_i^2} \quad \text{pro} \quad \bar{m}_i > s_i^2 \quad (146)$$

$$b) \quad F_i = \frac{s_i^2}{\bar{m}_i} \quad \text{pro} \quad \bar{m}_i < s_i^2 \quad (147)$$



Obr. 57

V našem případě je $s_i^2 > \bar{m}_i$, budeme proto vycházet z podmínky uvedené pod bodem b). Vypočtenou hodnotu F_i porovnáme s hodnotou tabelovanou pro počet stupňů volnosti

$$n_1 = N - 1 = 9; \quad n_2 = \infty; F_{\text{tab}}(95\%) = 1,8799$$

Podmínka pro přijetí hypotézy, že měřená veličina m_i má Poissonovo rozdělení je splněna pro IV. a III. hladinu.

Rozšířením počtu měření na 50 je podmínka o přijetí hypotézy splněna jen na IV. hladině.

Při větším počtu jevů $m_i > 20$ je možno nahradit přibližně Poissonovo rozdělení Gaussovým normálním rozdělením. Podle /36/ lze určit meze, na kterých se nachází střední hodnota μ_i základního souboru, ke kterému m_i se zvolenou statistickou jistotou může ještě náležet. Pro praktické účely vyhovuje vzorec

$$m_i + \frac{\lambda^2}{2} - \lambda \sqrt{m_i} \leq \mu \leq m_i + \frac{\lambda^2}{2} + \lambda \sqrt{m_i} \quad (148)$$

kde λ je tabelovaná funkce Gaussova rozdělení a reprezentuje vliv požadované statistické jistoty.

Při malém počtu jevů pro $m_i < 20$ nejsou meze symetrické k μ a platí pro spodní mez

$$\mu_{ni} = \frac{m_i}{F} \quad (149)$$

kde $F (n_1 = \infty; n_2 = 2 m_i, s \%)$ je tabelováno a pro horní mez

$$\mu_{oi} = \frac{\chi^2}{2} \quad (150)$$

kde $\chi^2 [n = 2(m_i + 1), s \%]$ je též tabelováno.

Pro vyšetřování rozdílu mezi naměřenými hodnotami při rozdílných parametrech ojednocování lze s výhodou použít zkoušku rozdílu dvou číselných výsledků, např. λ - test. Hodnotu λ vypočteme podle vzorce

$$\lambda = \frac{m_{iA} - m_{iB}}{\sqrt{m_{iA} + m_{iB}}} \quad m_{iA} > m_{iB} \quad (151)$$

Pak platí:

$\lambda < 1,96$	rozdíln je nejistý
$1,96 < \lambda < 2,58$	je nutno zvýšit rozsah měření
$2,58 < \lambda$	rozdíln je jistý

Uvedený test však může dát informaci pouze ve smyslu lepší - horší.

5.9.4 Příklad interpretace výsledků měření četnosti překročení

Měření četnosti překročení nedává sice informaci o povaze poruchy, ale můžeme si ukázat na hypotetickém základě význam tohoto měření a jeho využití při posuzování funkce ojednocovacího ústrojí.

Předpokládejme výpřed příze o jemnosti $T_{tr} = 20$ tex. Při otáčkách spřádacího rotoru $n_R = 90\,000 \text{ min}^{-1}$ a koeficientu zákrutu $\alpha_{\frac{1}{2}} = 80$ je nutno pracovat s dodávkou $g_h = 100 \text{ g.h}^{-1}$. Při rychlosti materiálu v přívodním kanále $v_2 = 30 \text{ m.s}^{-1}$ činí průměrná jemnost toku vláken $T_{t2} = 0,926$ tex, což je v průměru 4,53 vláken v průřezu kanálu. Je-li průměr sběrného povrchu rotoru $d_R = 37,4 \text{ mm}$, má sběrný povrch při $n_R = 90\,000 \text{ min}^{-1}$ obvodovou rychlost $v_3 = 176 \text{ m.s}^{-1}$. Průtah mezi kanálem a sběrným povrchem je $P_{23} = 5,87$ což znamená, že při ideálním průtahu z kanálu na sběrný povrch se bude ukládat na sběrný povrch pramínek o jemnosti $T_{t3} = 0,158$ tex nebo-li 0,7 vláken. Předpokládejme, že hodnotám obrazu shluku $P_{Hi} = 5$ a 10 odpovídá svazek vláken, který má v maximu jemnost

$$\begin{aligned} 5 \cdot T_{t2} &= 4,63 \text{ tex} \sim 29,3 & T_{t3} &\sim 23,1 \% T_{tr} \\ 10 \cdot T_{t2} &= 9,26 \text{ tex} \sim 58,7 & T_{t3} &\sim 46,3 \% T_{tr} \end{aligned}$$

Z uvedených vztahů plyne, že obrazy takových komplexů vláken mohou reprezentovat poruchy, které jsou v rozmezí

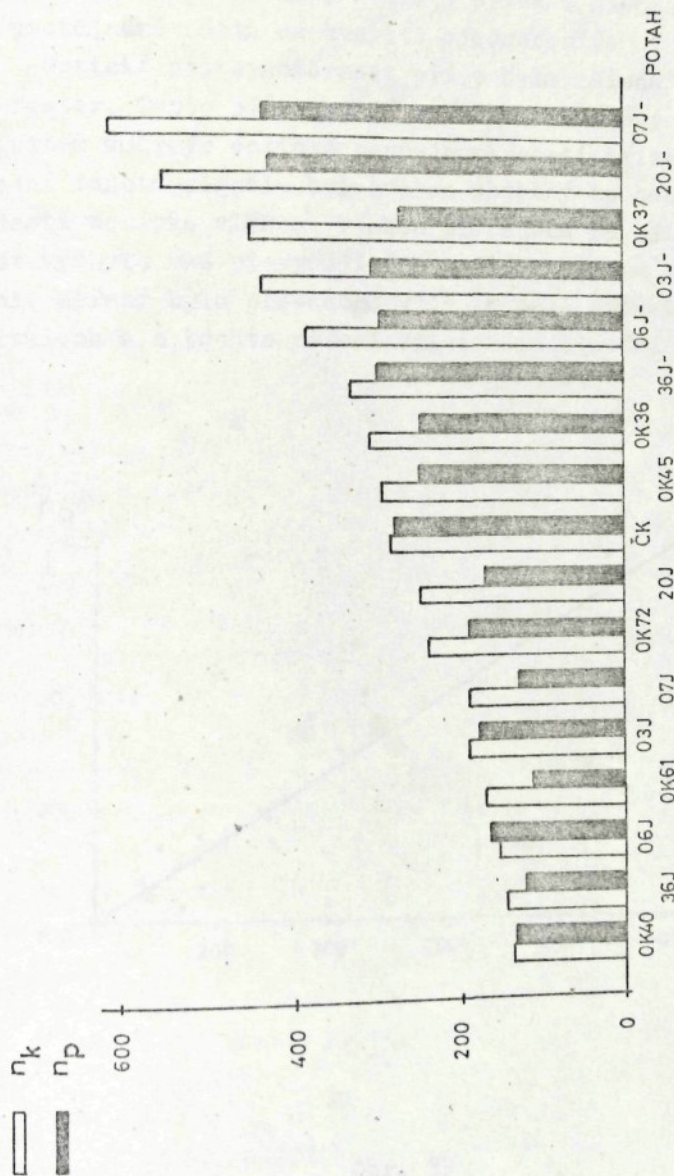
29,3 až 58,7 násobku průměrné jemnosti ukládaného pramínku v rotoru a činí dokonce 23,1 až 46,3 % jemnosti vyráběné příze. Taková porucha je nebezpečná jak z hlediska plynulosti procesu tvorby příze, tak z hlediska vzhledu a nestejnoměrnosti příze.

5.9.5 Vzájemný vztah mezi nestejnoměrností dodávky a příze

V úvodu této kapitoly jsme uvedli, že hledáme takovou charakteristiku procesu ojednocování, která bude citlivě reagovat na ovlivňující činitele a bude mít vazbu na kvalitativní ukazatele příze. Tento druhý požadavek, tj. vztah k přízi, předpokládáme zcela automaticky, poněvadž vlastnosti příze jako výsledného produktu procesu předení jsou nakonec rozhodující.

Abychom se mohli o souvislosti mezi nestejnoměrností dodávky a příze přesvědčit, byl proveden experiment, při kterém se měřila četnost překročení fotoelektrického obrazu dodávky a fotoelektrického obrazu příze - optická nestejnoměrnost. Měření se prováděla na spřádací jednotce BDA při $n_R = 80\,000\text{ min}^{-1}$. Vypřádaná bavlněná příze měla jemnost 29,5 tex. Změny dodávky z hlediska nestejnoměrnosti se vytvářely použitím různých potahů vyčesávacích válců, jejichž typové označení je na obr. 58. Do souboru jsou zahrnuty jak vinuté pilkové potahy, tak potahy jehličkové se sklonem jehel $\alpha < 90^\circ$ i $\alpha > 90^\circ$. S označením "ČK" je potah hřebínkový. V obr. 58 jsou sloupcovým diagramem vyznačeny naměřené hodnoty u dodávky i příze. Prázdným sloupcem je znázorněn počet poruch v dodávce, plným sloupcem počet poruch na přízi.

Závislost optické nestejnoměrnosti příze na nestejnoměrnosti dodávky y ukazuje obr. 59. Na ose x je vynášen počet poruch v dodávce n_k a na osu y počet poruch na přízi n_p . Jedná se vždy o průměrné hodnoty z pěti měření v délce trvání jednoho měření 2 min. Znázorněná lineární závislost má analytické vyjádření

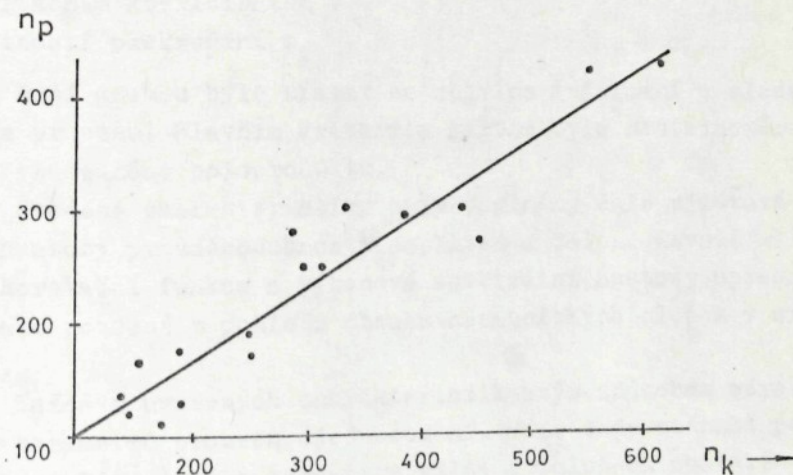


Obr. 58

$$n_p = 36,57 + 0,66 \cdot n_k \quad (152)$$

s koeficientem korelace $r = 0,95$. Vysoký koeficient korelace ukazuje těsnost vazby kvality příze z hlediska její optické nestejnoměrnosti na kvalitě ojednocení.

Optická nestejnoměrnost příze byla měřena přístrojem OE-Tester. Tento přístroj má vyveden analogový výstup se signálem úměrným optické nestejnoměrnosti příze. Pro vyhodnocení tohoto signálu byl zvolen obdobný způsob, jakým se hodnotí dodávka vláken. V obou případech se zjišťovala četnost výskytu vad převyšujících určitou předem zvolenou hranici. Měření bylo prováděno vždy v pěti dvouminutových intervalech a z těchto měření zjišťována střední hodnota.



Obr. 59

Uvedené vztahy získané měřením na reálné spřádací jednotce ukazují příčinnou souvislost sledovaných jevů, tj. nestejnoměrnosti toku vláken přiváděného do rotoru a nestejnoměrnosti vypředené příze.

5.9.6 Vzájemné porovnání charakteristik fotoelektrického obrazu dodávky

Při provádění analýze signálu získaného měřením toku vláken na výstupu z ojednocovacího ústrojí, jsme se postupně zabývali těmito charakteristikami:

- střední hodnotou $\overline{U_{T2}(t)}$
- rozptylem $\overline{U_{T2}(t)^2}$
- standardní odchylkou s
- variačním koeficientem V
- četností překročení m_i

Naší snahou bylo získat co nejvíce informací o sledovaném procesu. Hlavním kritériem přitom byla nestejnoměrnost vlákenného poloproduktu.

Uvedené charakteristiky byly doplněny dále zjišťováním hustoty pravděpodobnosti amplitud a délek. Rovněž měření autokorelační funkce a výkonové spektrální hustoty upřesňuje naše poznání z pohledu obsahu harmonických složek v signálu.

Každá z uvedených charakteristik svým způsobem odráží vliv parametrů procesu ojednocování. Máme tedy možnost podle povahy ovlivňujícího parametru volit příslušnou charakteristiku nebo soubor charakteristik.

V technické praxi se snažíme o to, používat takové charakteristiky, které mají vysoký informační obsah, lze je měřit s požadovanou přesností a reprodukovatelností. Rovněž je nutné přihlížet k časové a přístrojové náročnosti při jejich zjišťování.

V následujícím si ukážeme na konkrétních výsledcích, jak reagují charakteristiky, standardní odchylka, variační koeficient a četnost překročení, na změny parametrů procesu ojednocování.

5.9.6.1 Vliv potahu vyčesávacího válce

Rozbor funkce ojednocovacího ústrojí ukázal, že potah vyčesávacího válce při dané geometrii rozčesávací zóny má rozhodující vliv na stupeň ojednocení. Pro účely porovnání uvedených charakteristik byl zvolen experiment, při němž se měnil pouze potah vyčesávacího válce OK 40 a OK 37. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce V.

Tab. V.

potah	$\bar{U}_{T2}$ /V/	s /V/	V /‰/	četnost překročení			
				I	II	III	IV
OK 40	1,90	0,842	44	893	118	39	14
OK 37	1,91	0,983	51	2809	601	175	46
poměr	1,005	1,167	1,159	3,146	5,093	4,49	3,28

V části tabulky "četnost překročení" jsou uvedeny počty průchodů hladinami s úrovní p_{H1} :

$$\begin{aligned} I &\sim 1,8 \\ II &\sim 2,2 \\ III &\sim 2,5 \\ IV &\sim 2,9 \end{aligned}$$

V posledním řádku tabulky jsou vypočteny poměry naměřených charakteristik. Z těchto hodnot je vidět, že charakteristiky překročení změnu potahu vyčesávacího válce odrážejí výrazněji než charakteristiky s a V.

5.9.6.2 Vliv otáček vyčesávacího válce

Otáčky vyčesávacího válce rovněž ovlivňují proces ojednocování, ne však takovou měrou jako potah. Ukážeme si na případu ojednocování bavlny vyčesávacím válcem s potahem OK 61 vzájemný vztah sledovaných charakteristik. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce VI.

Tab. VI.

n $\frac{v}{\text{min}^{-1}}$	$\bar{U}_{T2}$ /V/	s /V/	V /%/	četnost překročení			
				I	II	III	IV
5 000	0,739	0,330	44,7	4338	1115	384	119
6 000	0,724	0,328	45,3	3933	942	307	91
7 000	0,681	0,294	43,2	3076	647	200	61
8 000	0,664	0,290	43,6	2674	517	156	53

Naměřené hodnoty potvrzují, že vliv otáček vyčesávacího válce na stupeň ojednocení je menší než vliv potahu. Zároveň je vidět, že četnost překročení i na tento parametr reaguje citlivěji. U variačního koeficientu se v tomto případě uplatňuje změna jemnosti toku vláken způsobená rostoucími otáčkami.

Uplatníme-li na četnost překročení u obou případů z tabulky V. a VI. pro čtvrtou hladinu λ -test /viz kap. 5.9.3/, pak v případě změny potahu OK 40/OK 37 vychází

$$\lambda = 4,13 > 2,58 \quad \text{rozdíl obou hodnot je výrazný.}$$

Pro změnu otáček z 5 000 na 6 000 min^{-1} vychází

$$\lambda = 1,932 < 1,96 \quad \text{rozdíl obou hodnot není jistý.}$$

Vezmeme-li větší rozdíl otáček, např. 5 000 a 7 000 min^{-1} , pak vychází

$$\lambda = 4,323 > 2,58 \quad \text{rozdíl porovnávaných hodnot je významný.}$$

Aplikací F-testu na disperse naměřené s potahy OK 40 a OK 37, $F_m > F_{kr}$ dostáváme

$$F_m = \frac{s_{37}^2}{s_{40}^2} = \frac{0,966}{0,709} = 1,363$$

$$F_{kr} (\alpha = 0,05; n_1 = 19; n_2 = 19) = 2,168 > F_m$$

Podle tohoto kriteria nelze rozdíl obou dispersí považovat za významný.

Na základě vzájemného porovnání charakteristik signálu z obou experimentů, dále s přihlédnutím k návaznosti na vlastnosti příze jak to bylo uvedeno v předchozí kapitole, lze charakteristiku četnosti překročení doporučit k hodnocení ojednocování vláken v ojednocovacím ústrojí. Tato charakteristika bude uplatněna i v následující experimentální části.

6.0 Experimentální část

V této kapitole si ukážeme praktickou aplikaci popsané měřicí metody při výzkumné práci na ojednocovacím ústrojí.

6.1 Vliv objemového průtoku vzduchu v dopravním kanále a vliv otáček vyčesávacího válce na nestejnomyšnost dodávky vláken

V tomto případě budeme sledovat současně vliv dvou parametrů na kvalitu dodávky. Jedná se tedy o dvoufaktorový technologický experiment, na který budeme aplikovat zásady plánovaného experimentu.

Plánovaný experiment představuje sestavení zkoušek

podle určitého předem stanoveného schematu. K tomu je nutné:

1. sestavení matice plánování (výběr zkoušek nutných pro experiment),
2. výběr metod matematického zpracování výsledků.

Předností plánovaného experimentu je dostatečná přesnost experimentu při menším počtu zkoušek. Vstupní parametry - faktory, jsou proměnné veličiny odpovídající způsobu působení okolí na zkoumaný objekt. Od faktoru požadujeme, aby byl jednoznačný a přesně měřitelný. U více faktorových experimentů pak musí být faktory nezávislé. Výběr intervalu změny faktorů se provádí na základě rozboru fyziologické podstaty procesu a studia informací dříve provedených výzkumů.

Závislost cílové veličiny Y na ovlivňujících veličinách X_i , tj. faktorech, se vyjadřuje matematickým vztahem, který se získá vyhodnocením výsledků experimentu regresním počtem, založeném na metodě nejmenších čtverců. Analyticky vyjádřená závislost $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ se nazývá regresní vícefaktorový model.

Plán experimentu

Pro náš případ použijeme postup podle centrálního složeného experimentu /37/.

Faktory tohoto experimentu jsou

$X_1 \dots n_v$ /min⁻¹/ otáčky vyčesávacího válce
 $X_2 \dots Q_D$ /l.s⁻¹/ objemový průtok vzduchu v kanále

Oblasti změny faktorů byly zvoleny

$$4\,000 \leq n_v \leq 8\,000$$

$$1,5 \leq Q_D \leq 2,5$$

Základní úroveň faktorů

$$X_{01} = 6\,000 \text{ /min}^{-1}/$$

$$X_{02} = 2 \text{ /l.s}^{-1}/$$

Interval změny faktorů

$$Y_1 = 1\,400 \text{ /min}^{-1}/$$

$$Y_2 = 0,35 \text{ /l.s}^{-1}/$$

Centrální složený experiment má tři skupiny zkoušek:

1. Základní skupina zkoušek - jádro, tomu odpovídá počet zkoušek $N_j = k^M$, kde k je počet úrovní faktoru a M počet faktorů. Pro $k = 2$; $M = 2$; $N_j = 4$.
2. Počet zkoušek odpovídajících tzv. hvězdicovým bodům $N_h = 2M$, nebo-li $N_h = 4$.
3. Zkoušky v centru experimentu, jejichž počet N_c je dán počtem opakování. $N_c = 5$.

Celkový počet zkoušek $N = N_j + N_h + N_c = 13$.

Hodnoty centrálního bodu udávají základní úroveň faktorů.

Pro body jádra dostáváme úroveň faktorů

$$X_{d1} = X_{01} - Y_1 = 6\,000 - 1\,400 = 4\,600 \text{ /min}^{-1}/$$

$$X_{h1} = X_{01} + Y_1 = 6\,000 + 1\,400 = 7\,400 \text{ /min}^{-1}/$$

$$X_{d2} = X_{02} - Y_2 = 2 - 0,35 = 1,65 \text{ /l.s}^{-1}/$$

$$X_{h2} = X_{02} + Y_2 = 2 + 0,35 = 2,35 \text{ /l.s}^{-1}/$$

Pro hvězdicové body jsou následující úrovně faktorů

$$X_{dd1} = X_{01} - a \cdot Y_1 = 6000 - 1,414 \cdot 1400 = 4\,020 \text{ /min}^{-1}/$$

$$X_{hh1} = X_{01} + a \cdot Y_1 = 6000 + 1,414 \cdot 1400 = 7\,980 \text{ /min}^{-1}/$$

$$X_{dd2} = X_{02} - a \cdot Y_2 = 2 - 1,414 \cdot 0,354 = 1,50 \text{ /l.s}^{-1}/$$

$$X_{hh2} = X_{02} + a \cdot Y_2 = 2 + 1,414 \cdot 0,354 = 2,50 \text{ /l.s}^{-1}/$$

V tabulce VII. jsou uvedeny upravené úrovně faktorů včetně naměřených hodnot četnosti překročení n , která je mírou kvality ojednocení a vypočtených hodnot z regresního modelu.

Tab. VII.

č.zk.		$X_1 = n_v$ /min ⁻¹ /	$X_2 = Q_D$ /l.s. ⁻¹ /	n	Y
1. Zkoušky	1	7 500	2,3	23	22,6
v jádru	2	7 500	1,6	97	98,5
	3	4 500	1,6	133	138,9
	4	4 500	2,3	30	35,8
2. Zkoušky	5	6 000	2,5	21	18,9
v hvězdico-	6	6 000	1,5	141	136,3
vých	7	8 000	2,0	41	41,3
bodech	8	4 000	2,0	82	74,4
3. Zkoušky	9	6 000	2,0	45	51,6
v	10	6 000	2,0	48	51,6
centru	11	6 000	2,0	57	51,6
	12	6 000	2,0	53	51,6
	13	6 000	2,0	54	51,6
kontrolní		5 000	2,0	59	61,3
body		7 000	2,0	42	44,8

Podle tabulky náhodných čísel bylo pořadí zkoušek stanovenno následovně:

2, 1, 9, 7, 11, 13, 3, 8, 4, 5, 10, 12, 6.

Další technologické parametry experimentu byly následující:

potah vyčesávacího válce OK 37

předkládaná surovina bavlna RI/RII; 50%/50%

pramen 3,57 ktex, 2x pos.

podávací rychlost $v_0 = 0,6$ /m.min⁻¹/

Regresní model předpokládáme ve tvaru

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2 \quad (153)$$

Pro výpočet regresních koeficientů byl vypracován program na počítač HP 9830 A. Z naměřených hodnot byly vypočítány tyto koeficienty:

regresní koeficient	významný
$b_0 = 965,33$	ano
$b_1 = -0,0532$	ano
$b_2 = -612,05$	ano
$b_3 = 1,56 \cdot 10^{-6}$	ne
$b_4 = 104,03$	ano
$b_5 = 0,0131$	ano

Korelace mezi měřenou veličinou Y a příslušným faktorem:

$$r_{YX1} = - 0,263$$

$$r_{YX2} = - 0,916$$

Celkový koeficient korelace modelu $r_Y = 0,9931$

Celkový koeficient určitosti modelu $r_Y^2 = 0,9863$

Test adekvátnosti modelu podle Fisherova kritéria

$$F_k > F_m \quad (154)$$

$$F_k = 6,59, \quad F_m = 2,23$$

Podmínka (154) je splněna, model je adekvátní. S přihlédnutím k významnosti jednotlivých regresních koeficientů bychom mohli model dále zjednodušit vypuštěním koeficientu b_3 , který je součinitelem u kvadrátu otáček.

Toto zjednodušení bylo provedeno, vyšla opět splněná podmínka adekvátnosti a celkový koeficient korelace $r_Y = 0,9911$, koeficient určitosti $r_Y^2 = 0,9823$.

Graficky je regresní model závislosti nestejnoměrnosti, vyjádřené četností překročení na otáčkách vyčesávacího válce a objemového průtoku vzduchu v dopravním kanále, na obr. 60.

6.1.1 Zhodnocení výsledku experimentu

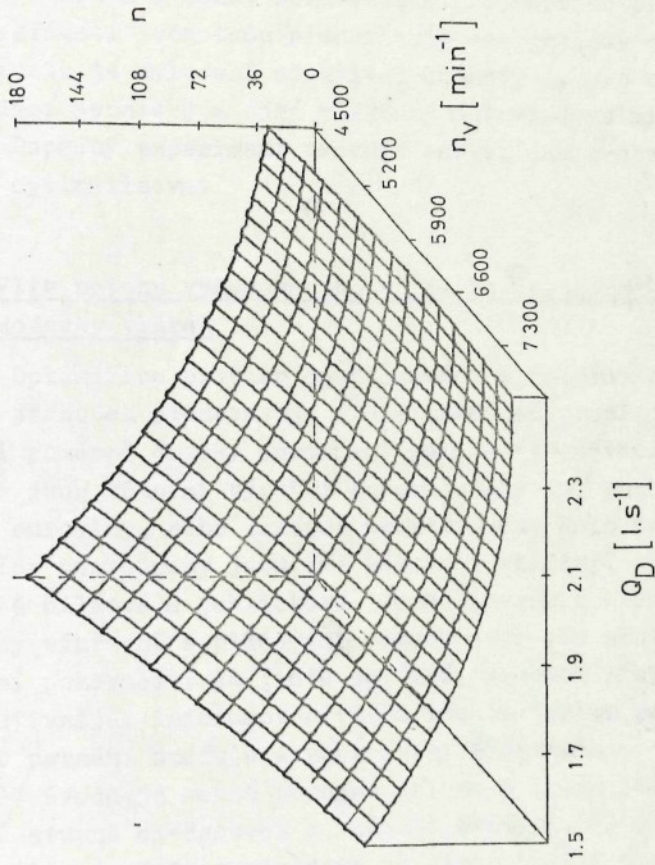
Jak je vidět z obr. 60, oba parametry, tj. otáčky i vzduch, ovlivňují kvalitu dodávky. V rozsahu úrovní parametrů použitých při tvorbě modelu, je jasná tendence zlepšování dodávky nebo-li pokles počtu vláknenných komplexů s rostoucími otáčkami a objemovým průtokem vzduchu. Je zde zároveň patrný podstatně silnější vliv vzduchu ve srovnání s otáčkami. Nejvyšším bodem grafu je případ $n_v = 4\ 500\ \text{min}^{-1}$; $Q_D = 1,5\ \text{l.s}^{-1}$. Minimum se však nenachází u nejvyšších hodnot parametrů, ale v oblasti $n_v = 6\ 400\ \text{min}^{-1}$, $Q_D = 2,5\ \text{l.s}^{-1}$. U některých typů potahů vyčesávacího válce dochází totiž při vysokých otáčkách ke zvětšení počtu shluků v dodávce. Tímto jevem se budeme ještě zabývat v dalším experimentu.

Kdybychom vedli řez regresní modelovou plochou při konstantních otáčkách, vyjde nám průběh daný polynomem druhého stupně. Naskytá se otázka, proč tato závislost není lineární, jestliže s rostoucím objemovým průtokem vzduchu roste jeho rychlost lineárně? Odpověď je třeba hledat v principu činnosti ojednocovacího ústrojí.

Z funkce ojednocovacího ústrojí vyplývá, že vzduch, nasávaný přes dopravní kanál, se může uplatnit až při snímání vláken z potahu, jejich transportu v přechodové zóně a vlastním kanále. To znamená, že se neuplatňuje při rozčesávání, které je určeno hlavně typem potahu, otáčkami vyčesávacího válce a geometrií opěrné plochy pro třáseň. Účinek vzduchu může tedy přispívat až k dodatečnému ojednocení.

Jak plyne z výsledků experimentu, při nízkých množstvích Q_D , je obsah komplexů vláken v dodávce vysoký, což ukazuje na nízkou účinnost dodatečného ojednocení v proudu vzduchu v důsledku nízké rychlosti proudění.

U hodnot $Q_D > 2\ \text{l.s}^{-1}$ se výrazně snižuje strmost závislosti $n = f(Q_D)$. Toto chování si lze vysvětlit podle předchozího popisu tím, že do oblasti působnosti vzduchu se dostávají již takové skupinky vláken, které proud vzduchu není schopen dále rozvolňovat.



Obr. 60

Tento stav bychom mohli považovat za jistý limitní případ rozvolňovací schopnosti dané konfigurace ojednocovacího ústrojí. Použitím jiného potahu, např. OK 40, by bylo možné dosáhnout dalšího zlepšení ojednocování.

Vzhledem k tomu, že zvyšování objemového průtoku vzduchu spřádací jednotkou představuje energeticky náročnou záležitost, je nalezení efektivní hodnoty Q_D pro určitý typ spřádací jednotky a daný vlákenný materiál velmi důležité.

Popsaný experiment ukazuje cestu, jak proces ojednocování optimalizovat.

6.2 Vliv potahu vyčesávacího válce na nestejnomyšnost dodávky vláken

Optimalize procesu ojednocování u rotorových spřádacích jednotek představuje stále aktuální problém. Svědčí o tom i poměrně široký sortiment potahů vyčesávacích válců, které jsou různými výrobci doporučovány pro zpracování určité suroviny, nebo dokonce prezentovány jako univerzální. Nejvíce zastoupeny jsou dvě základní skupiny, tj. potahy vinuté pilkové a jehličkové. Československé stroje jsou dodávány výhradně s pilkovými potahy a je jim proto věnována hlavní pozornost. Je jistě správné, abychom získali co nejobjektivnější informace o všech těchto typech potahů. K tomuto poznání směřuje i popisovaný experiment.

V úvodu je nutné poznamenat, že s typem potahu souvisí kromě stupně ojednocení i možnost krácení, či jiného poškození vláken. Tuto skutečnost je třeba brát v úvahu i při posuzování výsledků měření nestejnomyšnosti dodávky, poněvadž použitá měřicí metoda je schopna postihnout rozdíly v ojednocení, ale nezaznamenává úroveň poškození vláken. Jinými slovy, agresivní potahy budou z hlediska stejnoměrnosti dávat lepší výsledky než potahy méně agresivní, což ale neznamená ještě nejlepší vlastnost z hlediska dalších technologických parametrů.

6.2.1 Popis měření

Pro potřeby měření byla upravena sériová spřádací jednotka typ CE II. Z uvedené jednotky je použito těleso ojednocovacího ústrojí a kanálová vložka. Geometrie těchto dílců zůstala zachována. Na kanálovou vložku navazuje měřicí kanál se snímačem FOMED. Vlákenný tok je snímán v celém průřezu dopravního kanálu. Fotoelektrický signál ze snímače FOMED byl analyzován amplitudově. Při každé zkoušce byl zjišťován počet překročení předem zvolených úrovní, které byly voleny s ohledem na použitý vlákenný materiál. Hodnoceny byly vždy tři realizace náhodné proměnné $U_{T2}(t)$, přičemž každá realizace představovala dvě minuty sledovaného děje. Průměrné hodnoty ze tří měření jsou uvedeny v tabulkách VIII. a IX.

6.2.2 Technické podmínky experimentu

Těleso ojednocovacího ústrojí SJ CE II
potahy vyčesávacího válečku:

pilkové: OK 61, OK 37, OK 40, OK 36, Graf, OK 45,
OK 71

jehličkové: 01-03, 01-05, 01-06, 01-07, 01-20, 01-36
(specifikace viz tab. VIII)

objemový průtok vzduchu dopravním kanálem $Q_D = 2 \text{ l.s}^{-1}$

objemový průtok vzduchu na odvodu nečistot $Q_N = 0,7 \text{ l.s}^{-1}$

otáčky vyčesávacího válečku $n_v = 3\ 000, 5\ 000, 7\ 000$ a
 $9\ 000 \text{ min}^{-1}$

podávací rychlost $v_o = 0,57 \text{ m.min}^{-1}$

Nastavení soupravy FOMED

VN	1 070 V	
·I _ž	220 mA	
U _{Hi}	3,5 V	pro bavlnu
	4,0 V	pro VSs
	2,5 V	pro PESs

Doba měření 3 x 2 min.

Použitý vláknenný materiál

bavlna RI/RII/RIII	45/40/15 %
VSs Spolana	1,6 dtex/36 mm
PESs Tesil 12	1,7 dtex/38 mm
pramen 2x pos., jemnost 3,57 ktex	

6,2.3 Parametry jehličkových potahů firmy REINERST FIRST, NSR

Tab. VII

	označení VV					
	01-20	01-36	01-07	01-06	01-03	01-05
sklon šroubovice /o/	22	22	15	18	15	-
sklon řádků /o/	72	73	90	90	90	90
sklon jehel /o/	88	82	85	85	85	85
rozteč jehel v řádku /mm/	3	2,46	2,36	1,55	1,55	-
rozteč řádku /mm/	2,9	2,9	5,6	4,1	5,5	4,3
počet řádků	68	68	59	48	36	30
počet jehel v řádku	7	7	13	13	13	14
počet jehel celkem	476	476	767	624	468	420
výška jehel /mm/	2,4	4	1,5	4	4	4

6.2.4 Analýza výsledků měření

Soubor měřených potahů vyčesávacích válečků lze rozdělit do tří skupin. Jsou to potahy pilkové, jehličkové s $\alpha < 90^\circ$ a jehličkové s $\alpha > 90^\circ$. Každá z těchto skupin byla měřena na stejném ojednocovacím ústrojí při stejných technologických podmínkách. Měřením toku vláken na výstupu z ojednocovacího ústrojí se tedy sleduje účinek potahu jako proměnného parametru. Naměřené hodnoty vyjádřené četností poruch v dodávce jsou uvedeny v tabulce IX a X a na obr.

61 a 62. Grafické závislosti jsou vymezeny v závislosti na otáčkách vyčesávacího válečku vždy ve skupinách podle shora uvedeného třídění.

Provedeme-li základní srovnání můžeme konstatovat následující pozorování:

- a) četnost poruch v dodávce je u pilkových potahů vyšší,
- b) pilkové potahy je třeba provozovat při vyšších otáčkách,
- c) závislost na otáčkách je u pilkových potahů strmá,
- d) jehličkové potahy vykazují určitou optimální oblast otáček, nízké i vysoké otáčky dávají horší výsledky,
- e) optimální otáčky jehličkových potahů jsou nižší než u potahů pilkových.

Z uvedeného srovnání vyplývá, že jehličkové potahy dávají celkově lepší stejnoměrnost. Tento jev vysvětluje např. Artz-Egbers /38/ tím, že uspořádání jehliček ve šroubovicích vzájemně se překrývajících nevytváří uličky, které u pilkových potahů jsou příčinou vyčesávání celých skupin vláken. K dalším příznivě působícím vlivům je možno zahrnout lepší schopnost uvolňovat vlákna z potahu podmíněné hladkým povrchem jehly a malým úhlem sklonu a vyšší mezivlákněné tření dané větším kontaktem pročesávaných vláken.

Při ojednocování bavlny tvoří v používaném rozsahu otáček u pilkových potahů hraniční případy OK 40 s dobrou ojednocovací schopností a OK 37 jako nejméně vhodný potah vyčesávacího válečku. U jehličkových potahů s $\alpha < 90^\circ$ jsou výsledky srovnatelné s OK 40 (8 000 ot.min⁻¹) již při otáčkách 5 000 min⁻¹. Při $\alpha > 90^\circ$ vychází OK 40 pro otáčky n_v 6 000 min⁻¹ lepší. Z pilkových potahů se vlastnostem OK 40 blíží OK 61.

Na obr. 63 a 64 je vynesena obdobná funkční závislost pro VSs. Hraniční případy na 7 000 otáčkách vyčesávacího válce tvoří potahy OK 40, opět s nejvyšší ojednocovací schopností, a OK 71, příp. OK 37 s nejmenším ojednocovacím účinkem. Silnou plnou čarou je značen potah OK 36, který je nejčastěji používán pro tento materiál. Ve srovnání s bavlnou

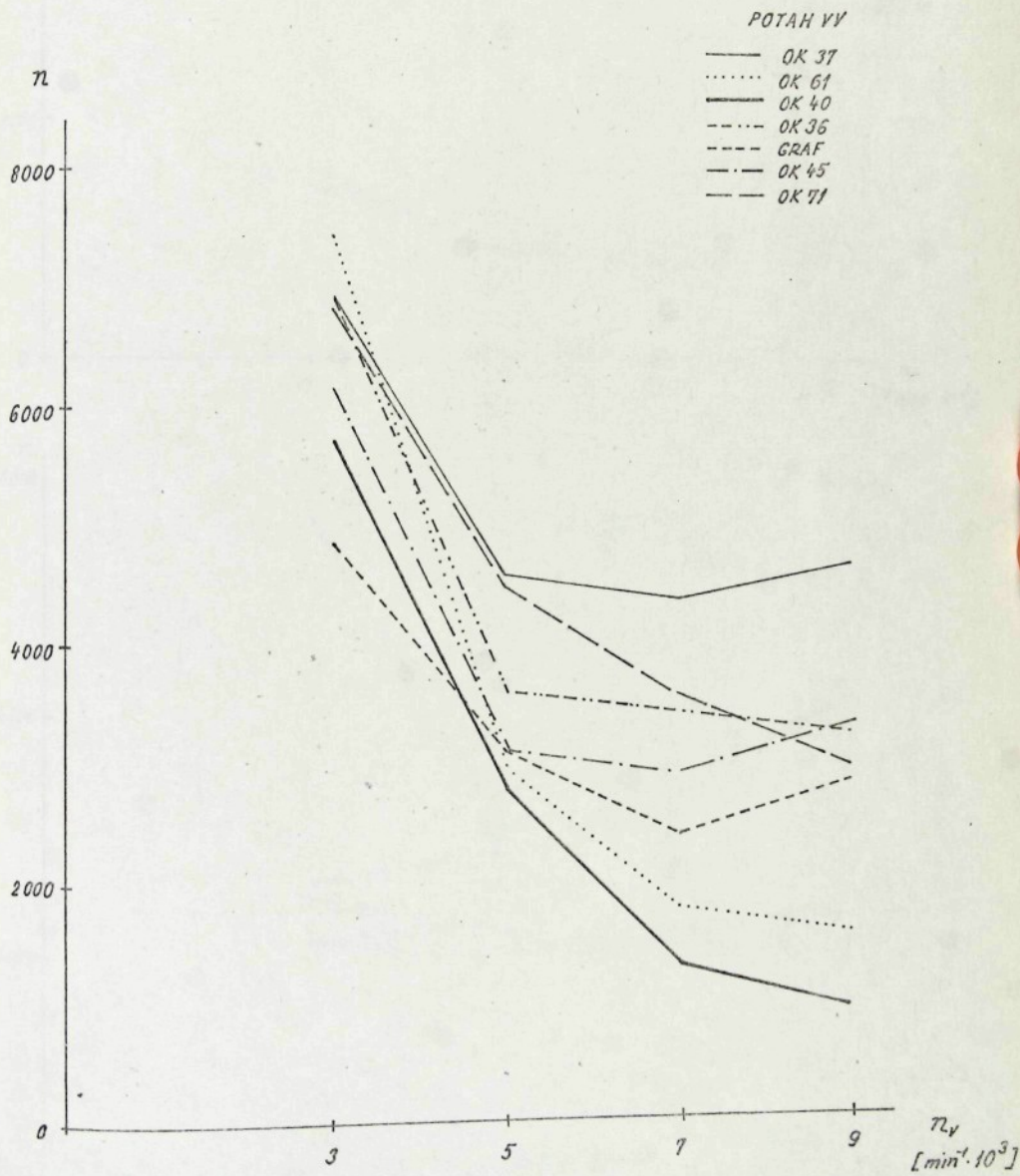
Tab. IX.

Potah VV	n_v /min ⁻¹ /	počet překročení bavlna	$\frac{n}{VS}$ u materiálu PESS	
OK 61	9 000	1 530	875	705
	7 000	1 777	1 430	1 440
	5 000	2 930	2 950	3 180
	3 000	7 455	6 425	9 005
OK 37	9 000	4 670	1 925	2 550
	7 000	4 385	2 275	3 040
	5 000	4 590	3 275	5 965
	3 000	6 975	5 770	8 865
OK 40	9 000	905	310	1 085
	7 000	1 295	790	1 585
	5 000	2 730	2 000	2 145
	3 000	5 745	4 440	6 875
OK 36	9 000	3 255	1 370	1 655
	7 000	3 400	1 970	2 335
	5 000	3 600	3 305	4 250
	3 000	6 970	6 385	9 020
Graf	9 000	2 820	890	1 290
	7 000	2 410	1 410	1 760
	5 000	3 060	2 070	3 175
	3 000	4 890	5 355	7 265
OK 45	9 000	3 285	995	1 344
	7 000	2 900	1 480	2 090
	5 000	3 105	2 695	4 070
	3 000	6 210	5 495	8 775
OK 71	9 000	2 975	1 445	2 305
	7 000	3 545	2 525	1 595
	5 000	4 490	4 010	4 565
	3 000	6 875	6 185	8 475

Tab. X.

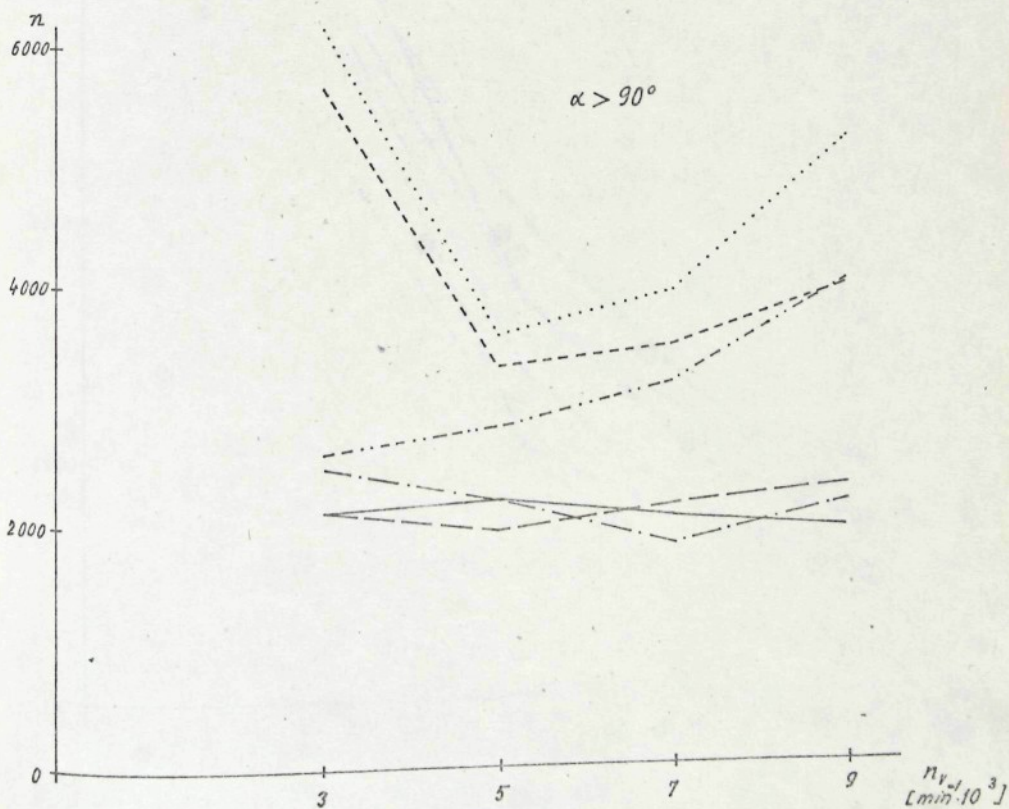
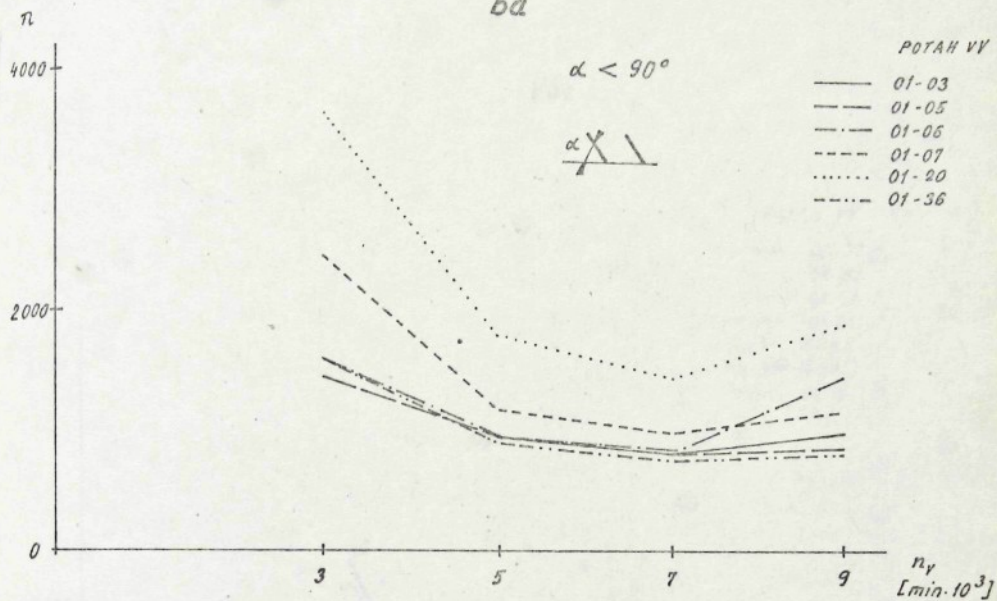
Potah VV	n_v /min ⁻¹ /	počet překročení $\underline{n}$ u materiálu		
		bavlna	VSS	PESs
01-03	9 000	1 000	220	570
$\alpha < 90^\circ$	7 000	810	40	910
	5 000	960	600	710
	3 000	1 430	640	1 570
$\alpha > 90^\circ$	9 000	1 960	630	2 890
	7 000	2 070	810	1 550
	5 000	2 210	670	1 550
	3 000	2 120	760	1 860
01-05	9 000	870	560	910
$\alpha < 90^\circ$	7 000	810	500	1 000
	5 000	960	330	550
	3 000	1 450	190	1 780
$\alpha > 90^\circ$	9 000	2 310	470	1 945
	7 000	2 170	690	1 860
	5 000	1 960	650	1 480
	3 000	2 120	680	2 560
01-06	9 000	1 460	90	695
$\alpha < 90^\circ$	7 000	850	360	860
	5 000	930	570	800
	3 000	1 580	610	1 830
$\alpha > 90^\circ$	9 000	2 180	870	2 320
	7 000	1 840	830	1 410
	5 000	2 220	780	1 730
	3 000	2 490	640	1 900
01-07	9 000	1 180	170	1 105
$\alpha < 90^\circ$	7 000	1 000	400	1 465
	5 000	1 170	600	1 280
	3 000	2 450	1 270	2 540
$\alpha > 90^\circ$	9 000	4 020	1 210	2 735
	7 000	3 500	1 030	2 485
	5 000	3 330	1 010	2 095
	3 000	5 670	1 770	3 870
01-20	9 000	1 900	230	1 450
$\alpha < 90^\circ$	7 000	1 440	270	830
	5 000	1 810	490	1 100
	3 000	3 640	1 790	3 190
$\alpha > 90^\circ$	9 000	5 230	1 170	3 710
	7 000	3 950	740	2 710
	5 000	3 600	870	1 710
	3 000	6 160	2 010	2 560
01-36	9 000	820	90	1 160
$\alpha < 90^\circ$	7 000	760	210	1 130
	5 000	900	390	440
	3 000	1 600	550	2 730
$\alpha > 90^\circ$	9 000	4 050	930	3 545
	7 000	3 180	730	2 540
	5 000	2 820	870	1 620
	3 000	2 610	870	1 585

ba

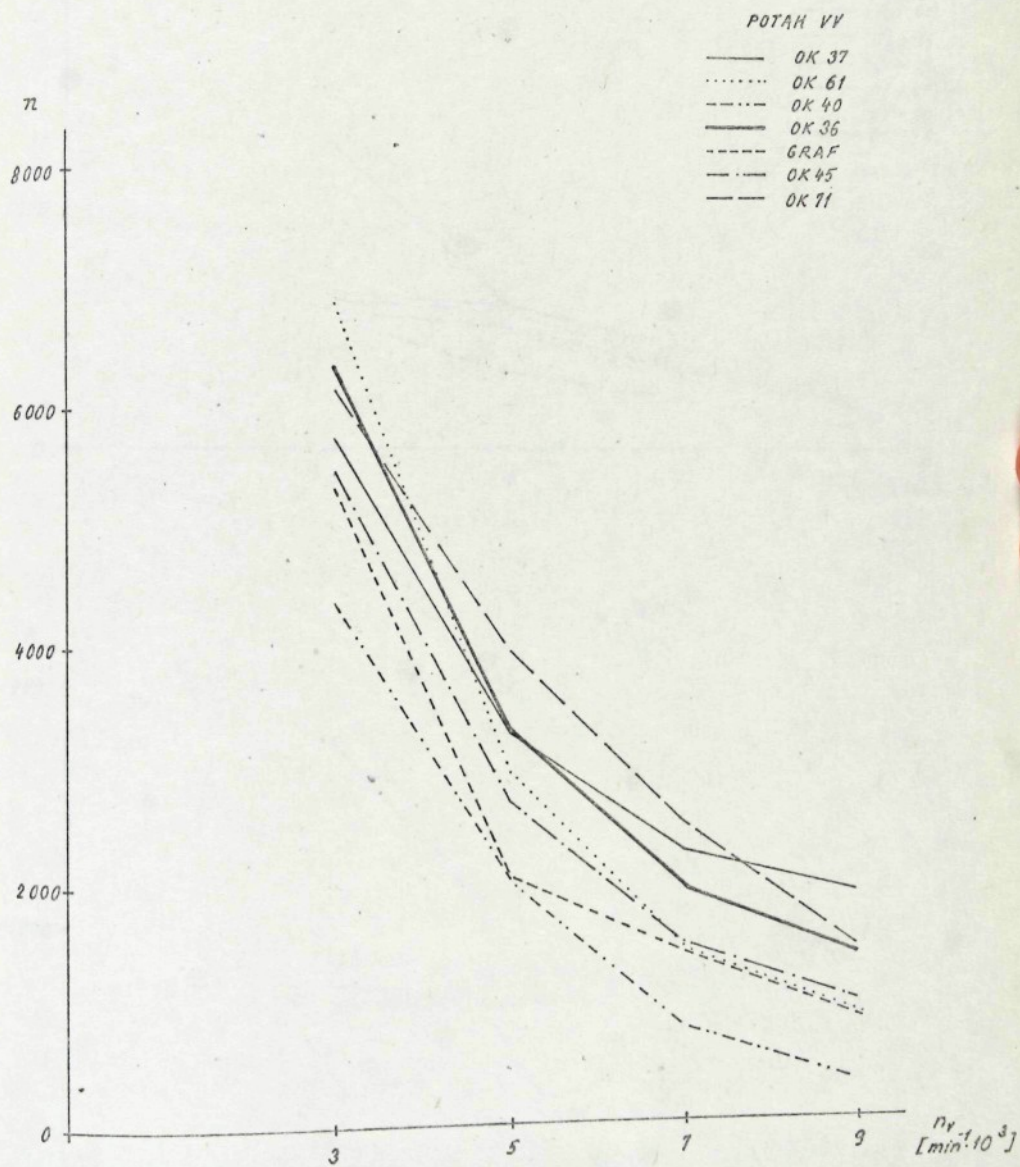


Obr. 61

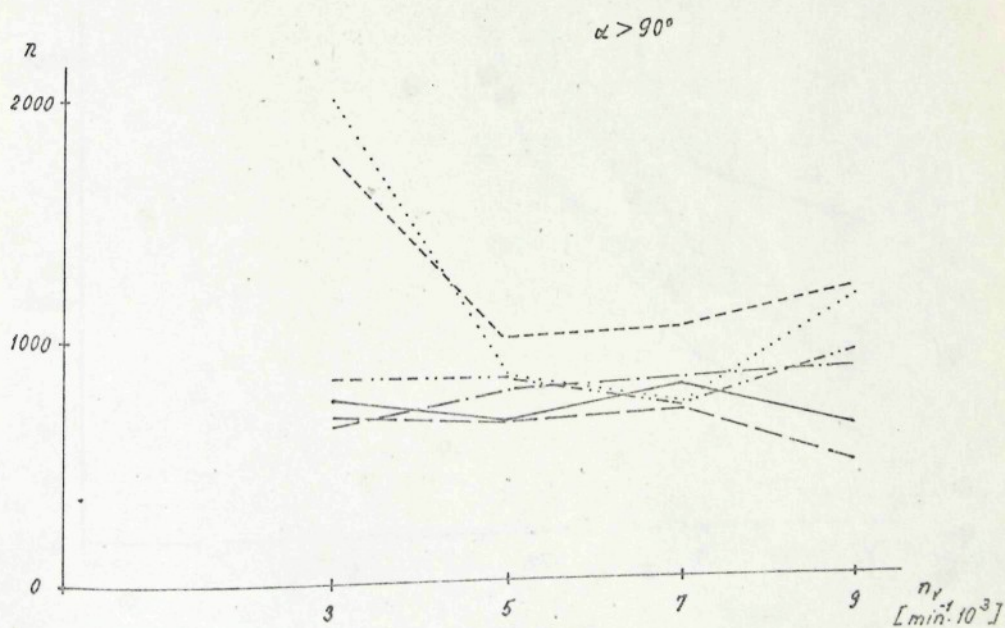
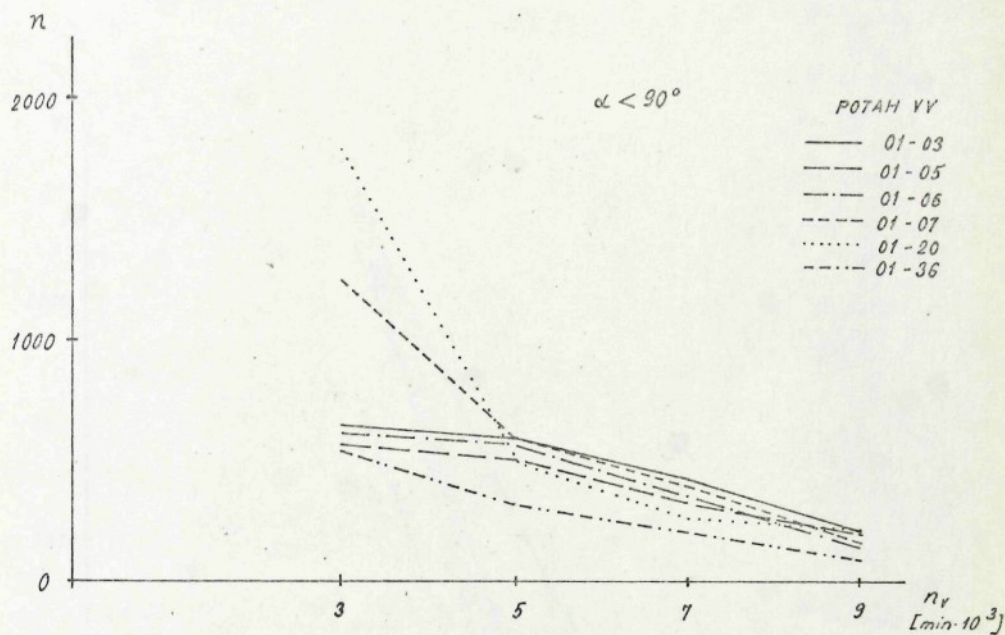
ba



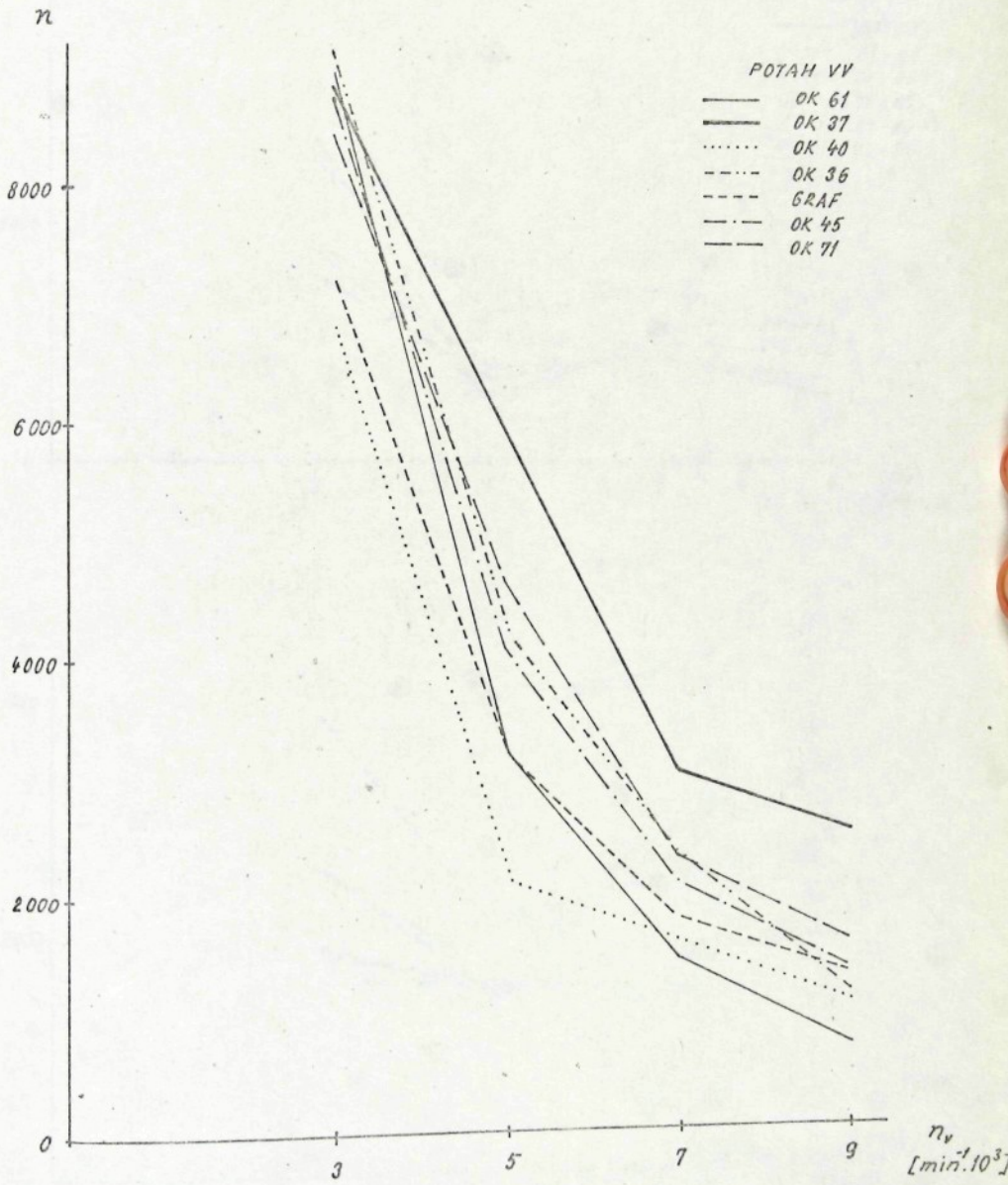
VS_s



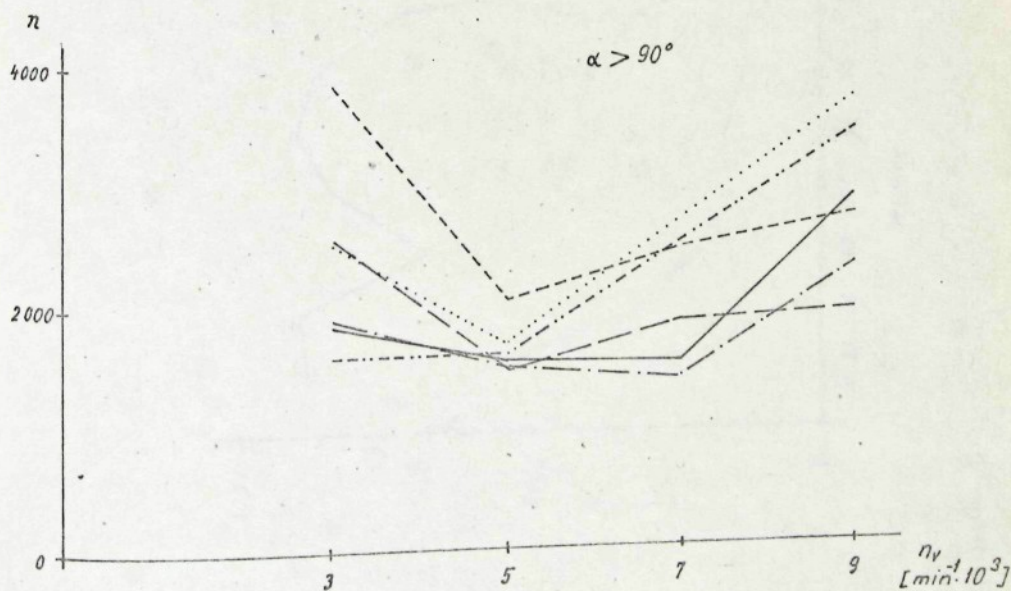
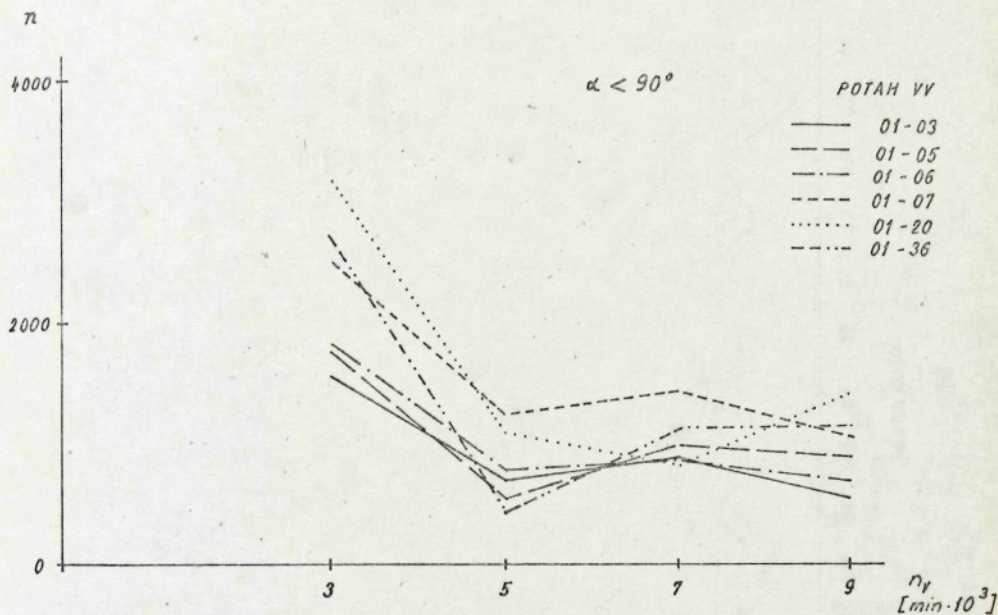
VS_s

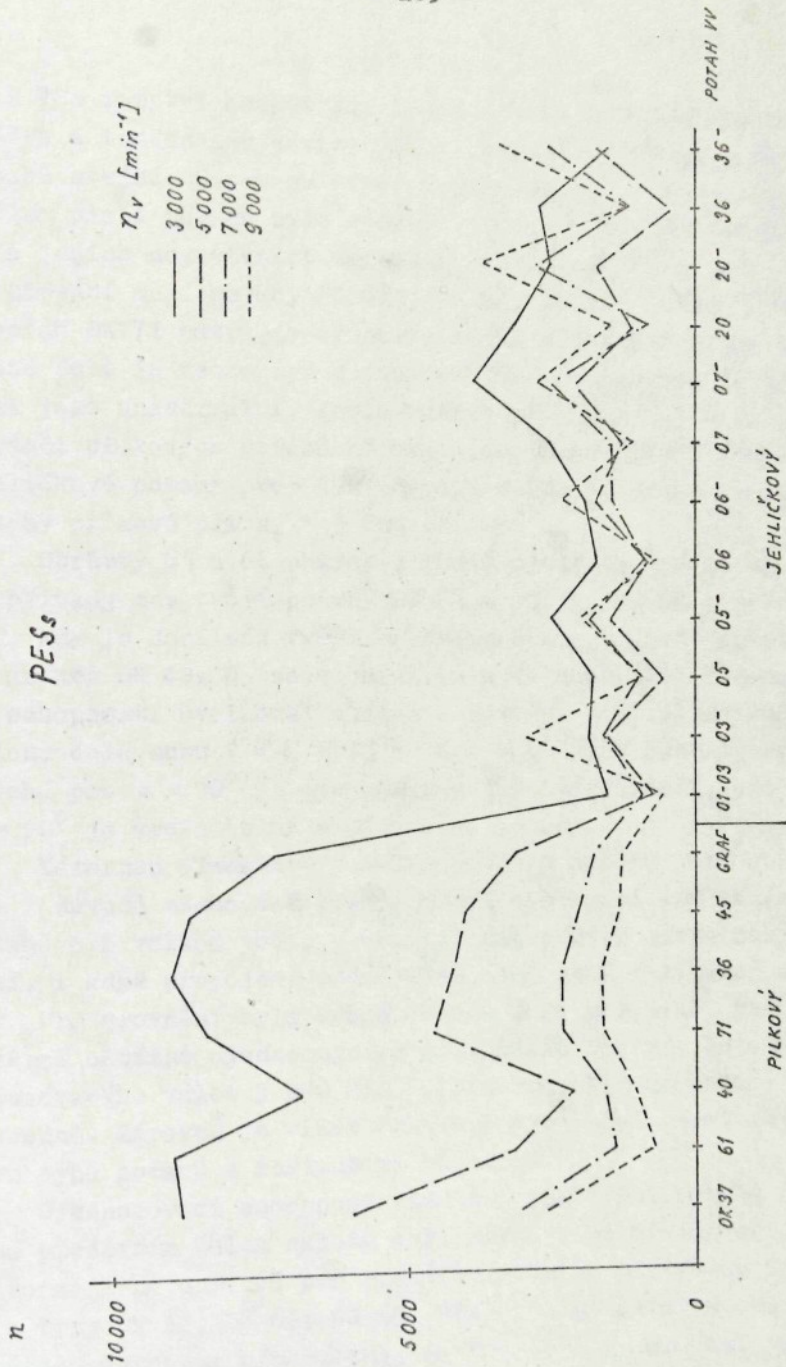


PES_s



PES:





Obr. 67

je u VSs rozptýl hodnot prakticky stejný v celém rozsahu otáček a tendence v závislosti na otáčkách rovněž u všech potahů stejná. O potahu OK 40 v souvislosti s tímto materiálem platí to, co bylo řečeno v úvodu o agresivitě potahu a jejich negativních účincích na vlákna. Prakticky shodné chování mají potahy "Graf", OK 61, OK 45. Potah "Graf" a potah OK 71 patří do skupiny potahů s jemnými zuby. V současné době je tento typ potahu nabízen švýcarskou firmou GRAF jako univerzální. Podle našich měření by bylo možné v rámci pilkových potahů ho brát jako kompromisní řešení. Jehličkové potahy pro $\alpha < 90^\circ$ dávají u VSs výsledky lepší než potahy pilkové při $n_v > 5\,000 \text{ ot.min}^{-1}$.

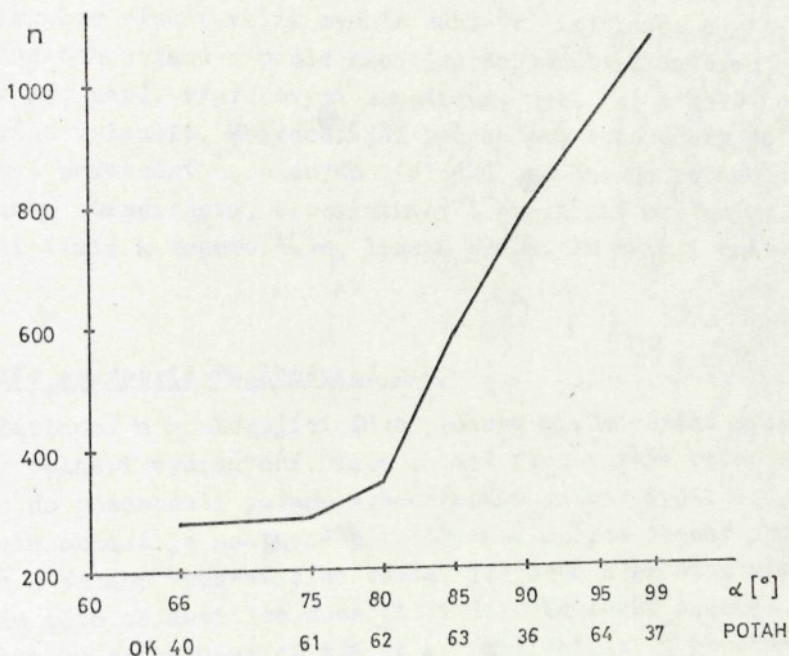
Obrázky 65 a 66 charakterizují ojednocování PESs. Mezní případy zde tvoří potahy OK 61 a OK 37. Je to první případ, kdy je docílena vyšší ojednocovací schopnost potahem jiným než OK 40. U tohoto materiálu to bude zřejmě dáno lepší schopností uvolňovat vlákna z potahu, podmíněnou úhlem sklonu čela zubu ($\alpha_{61} = 75^\circ$; $\alpha_{40} = 66^\circ$). U jehličkových potahů pro $\alpha < 90^\circ$ je stejnoměrnost dodávky lepší, při $\alpha > 90^\circ$ je srovnatelná s pilkovými potahy.

Názornou představu o celém souboru potahů dává obr.67, kde z důvodů zachování přehlednosti zobrazení vzájemných vztahů při velkém počtu parametrů byl použit spojnicový graf, i když propojení sousedních bodů nemá fyzikální smysl.

Pro srovnání byla vybrána PESs jako materiál, který se poměrně obtížně ojednocuje. Z obr. 67 je zřejmé, že otáčky vyčesávacího válce $3\,000 \text{ min}^{-1}$ jsou pro pilkové potahy již nevhodné. Zároveň je vidět částečné vyrovnaní vlastností obou typů potahů s rostoucími otáčkami.

Ojednocovací schopnost vinutých pilkových potahů je dána především úhlem sklonu čela zubu. Tato závislost je znázorněna na obr. 68 pro rozšířený soubor pilkových potahů o typy OK 62, OK 63, OK 64, kde opět na svislou osu jsou vynášeny četnosti překročení, na vodorovnou osu úhel sklonu čela zubu.

U některých potahů pilkových (OK 37, OK 45, "Graf") a jehličkových (Ol-20; Ol-36; Ol-07) můžeme pozorovat zvýšení počtu shluků v dodávce při vysokých otáčkách vyčesávacího válce. Tento jev souvisí se schopností potahu uvolňovat vlákna.



Obr. 68

Pracujeme-li totiž s ojednocovacím ústrojím s odlučováním nečistot, dochází u potahů s úhlem sklonu čela zubu nebo jehly blízkým 90° , event. $\alpha > 90^\circ$, v důsledku snadného uvolňování vláken účinkem odstředivé síly k jejich pronikání do odlučovací štěrbin. Zpomalení vláken v odlučovací štěrbině, jejich hromadění, zvyšuje nestejnou dodávku. Uvedený jev je příznačný pro ojednocovací ústrojí

s odlučováním nečistot. Nevhodně zvolený pracovní režim může vést kromě zhoršení kvality dodávky též ke změně skladby vyloučeného odpadu s větším obsahem vláken.

Uvedený experiment objasňuje obšírněji vliv dalšího významného parametru, kterým je potah vyčesávacího válce, s možností optimálního výběru.

Z experimentu zároveň vyplývá, že aplikací popsané metodiky lze získat velmi rychle základní informace o vlastnostech potahu a podle nich jej doporučit k dalšímu ověřování, např. výpředovými zkouškami, nebo jej z dalšího ověřování vyloučit. Nejvhodnější způsob pro tyto účely je vzájemné porovnání naměřených výsledků zkoumaného potahu s potahem standardním, experimentem i praxí již ověřeným. Dochází tímto k úspoře času, lidské práce, surovin i energie.

6.3 Vliv geometrie rozčesávací zóny

Základní a rozhodující fáze procesu ojednocování probíhá v oblasti vyčesávání. Tato oblast představuje vstup vláken do působnosti potahu vyčesávacího válce. Typické pro tuto oblast je postupné přibližování opěrné plochy pro třáseň k potahu vyčesávacího válce. Tvarovým a prostorovým řešením této oblasti lze docílit větší nebo menší proniknutí potahu do vstupující třásně a tím i intenzitu působení potahu. Je zřejmé, ponecháme-li rozčesávací zónu příliš dlouhou ve srovnání s délkou zpracovávaného vlákna, že zvyšujeme pravděpodobnost vyčesávání skupin vláken. Naproti tomu příliš krátká rozčesávací zóna může způsobit v důsledku intenzivního působení na třáseň poškození vláken.

Z uvedeného vyplývá, že se mezi popsanými krajními případy bude nacházet určité optimum, které bude respektovat jednak stupeň ojednocení i namáhání vláken. Najít toto optimum bylo cílem experimentu, při němž se sledoval vliv geometrie rozčesávací zóny. Při experimentu bylo využito snímače

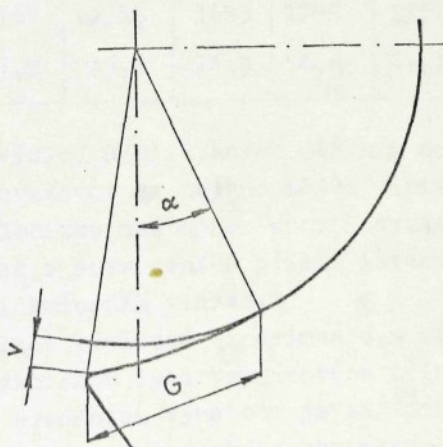
FOMED a paralelně byl prováděn výhled příze.

6.3.1 Volba geometrie rozčesávací zóny

Rozčesávací zónu lze charakterizovat dvěma parametry, které označíme V , α . Jejich geometrický význam je zřejmý z obrázku 69 a číselné hodnoty z tabulky XI.

Tab. XI.

č.	1	2	3	4	5	6	7
α /°/	32	32	32	32	11	22	44
V /mm/	3,4	4,4	2,4	1,4	3,4	3,4	3,4



Obr. 69

Konstrukčně byla změna geometrie řešena pomocí výměnných vložek, jimiž se nahrazovala opěrná plocha pro třáseň. Geometrie označená č. 1 představuje základní provedení na stroji BD 200.

Vliv změn geometrie byl posuzován jednak podle charakteristik dodávky, tj. směrodatné odchylky s , variačního koeficientu V a četnosti překročení n , dále podle lineární nestejnoměrnosti příze Uster B a jakostního čísla příze.

Výsledky pro případ odpovídající výpředu příze 12,5 tex z bavlny M II, s potahem OK 40 při $n_v = 6\ 000\ \text{min}^{-1}$ jsou uvedeny v tabulce XII a vyneseny v obr. 70 a 71.

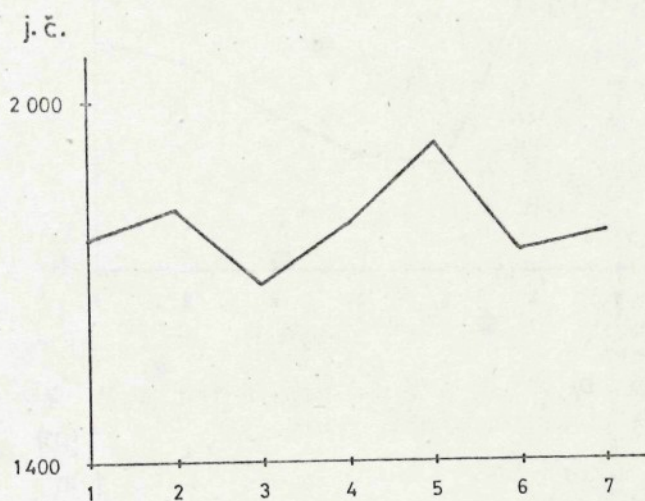
Tab. XII.

č.	1	2	3	4	5	6	7	
s	19,6	18,9	17,3	15,9	15,6	21,8	21,8	dodávka
$V\ /\%$	67,3	63,2	57,9	54,0	38,3	62,0	63,4	
n	48	41	39	36	6	29	53	
j.č.	1767	1816	1693	1798	1932	1753	1789	příze
$U\ /\%$	17,8	15,3	14,9	14,6	14,4	15,1	16,5	

Podle výsledků zjištěných měření dodávky a z rozboru příze lze považovat za nejvhodnější variantu č. 5. Provedení č. 4 z hlediska nestejnoměrnosti vykazuje dobré výsledky, jedná se však o provedení s příliš intenzivním působením potahu a tím i krácením vláken.

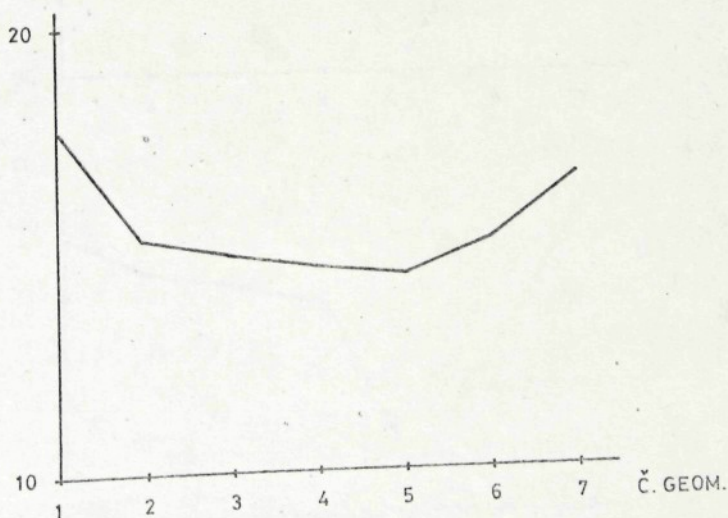
Na základě výsledků experimentu a následného ověření výpředovou zkouškou byla vypracována přihláška vynálezu PV 4845-78. Předmětem vynálezu je zařízení na objednávání staplových vláken bavlnářského charakteru o efektivní délce kladeného staplu či délce stříhu v rozsahu $l_v = 15$ až $40\ \text{mm}$ a jemnosti do $2,5\ \text{dtex}$ z pramene o jemnosti T_{to} od 2 do 5 ktex. Významem vynálezu je vymezení parametrů rozčesávací zóny, viz obr. 69 tak, že vzdálenost v počáteční hrany opěrné plochy od vnější válcové plochy vyčesávacího válce

CHARAKTERISTIKY PŘÍZE



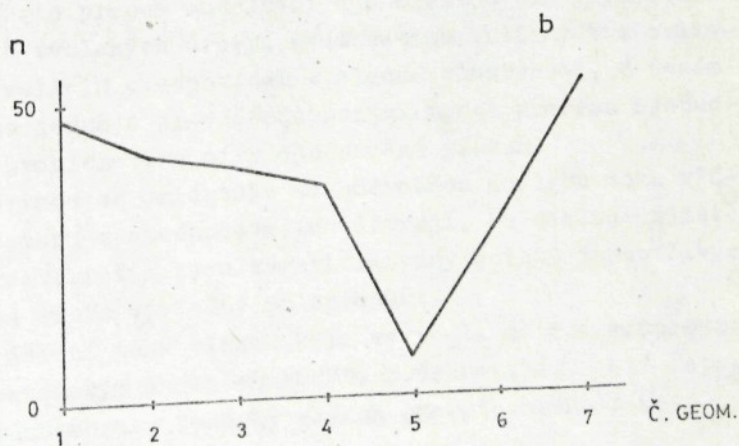
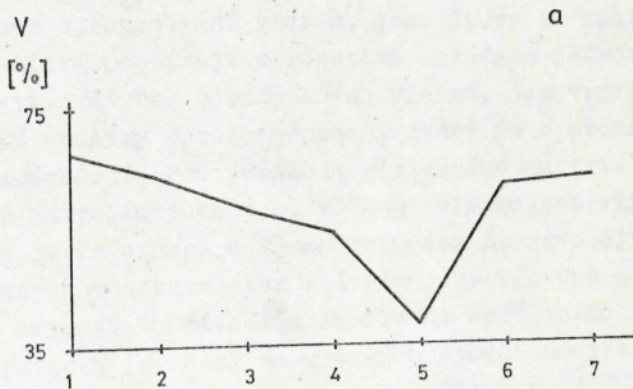
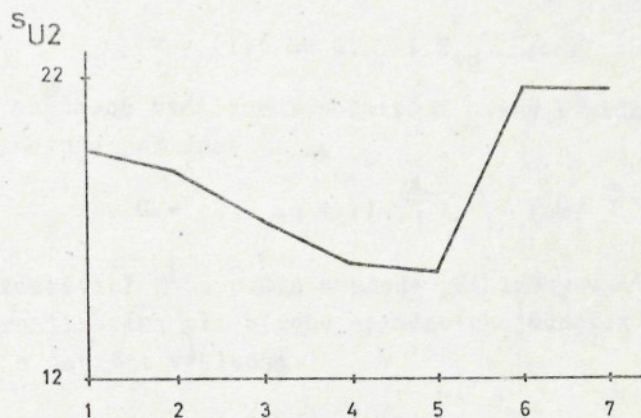
U
[%]

a



b

CHARAKTERISTIKY DODÁVKY VLÁKEN



c

je v rozsahu

$$v = (1,5 \text{ až } 2,2) \cdot T_{to} \quad /mm/$$

příčemž současně vzdálenost počáteční hrany a průnikové hrany vyhovuje podmínce

$$G = (2,3 \text{ až } 4,2) \sqrt[3]{1_v} \quad /mm/$$

Rozčesávací zóna podle uvedené přihlášky vynálezu byla již realizována při výrobě spřádacích jednotek typ CE II a BDA 1 s dobrými výsledky.

7.0 Souhrn, závěry a doporučení

Proces ojednocování vláken, jako jeden ze základních pochodů, které probíhají v rotorové spřádací jednotce, má za úkol vytvořit tok ojednocených vláken. Jak vyplývá z teoretické analýzy tohoto procesu, jedná se o proces náhodný stacionární. Při průchodu vláknenného materiálu ojednocovacím ústrojím působí na vlákna celý soubor vlivů. V souhrnu je informace o všech vstupech procesu ojednocování obsažena v toku vláken - dodávce na výstupu z ojednocovacího ústrojí v přívodním kanále do spřádacího rotoru.

Teoreticky je možné za určitých zjednodušujících předpokladů tento proces modelovat a s určitou pravděpodobností na základě zvolených úrovní uvažovaných vstupních a ovlivňujících veličin předpovídat výsledné vlastnosti. V daném případě se jedná o pravděpodobnostní model procesu ojednocování a problematiku míry ojednocení vláken.

Disertace se orientuje na podrobnou analýzu toku vláken na výstupu z ojednocovacího ústrojí. Na základě zjištěných charakteristik jsou kvantifikovány účinky jednotlivých faktorů na tento výsledný poloprodukt.

Pro měření toku vláken byla vyvinuta měřicí souprava s fotoelektrickým snímačem FOMED. Průzkum vlastností fotoelektrického obrazu dodávky vláken poskytovaného tímto

snímačem ukázal, že jeho vztah k originálu je dostatečně věrný a v širokém rozmezí dodávky i skupin vláken má lineární charakter.

Studie fotoelektrického obrazu dodávky vláken byla provedena v rozsahu, který odpovídá podrobné analýze náhodných funkcí. Byla prověřována stacionarita děje a hledány fyzikální interpretace naměřených charakteristik. Tak např. byla ukázána souvislost strmého poklesu autokorelační funkce s délkou vláken a stupněm ojednocení, dále přítomnost periodické složky v dodávce u pilkových vinutých potahů na frekvenci otáček vyčesávacího válce. Byl formulován obecný vztah pro autokorelační funkci obrazu dodávky

$$R(\tau) = A \cdot e^{-c\tau^2} + D \cos b\tau$$

Pro hodnocení spektra byl použit frekvenční analyzátor Brüel & Kjaer, typ 2107, který poskytuje spektrum směrodatných odchylek nebo též spektrum amplitud. Bylo generováno limitní spektrum směrodatných odchylek fotoelektrického obrazu dodávky pro Poissonovský tok vláken i s uvažováním šterbinového efektu čidla FOMED. Na základě toho mohly být formulovány jeho specifické vlastnosti:

- s poklesem rychlosti toku vláken se spektrum posouvá do nižších frekvencí a roste jeho výška,
- vlivem "šterbinového efektu" čidla FOMED dochází ke zkreslení spektra ve vyšších frekvencích,
- růst výšky spektra je vzhledem k dodávce g_h nelineární.

Z naměřených histogramů se vycházelo při výběru nejvhodnějšího zákona hustoty pravděpodobnosti rozdělení amplitud a časových intervalů obrazu dodávky. Testovací kritéria potvrdila jako nejvhodnější Weibullovo rozdělení. Toto rozdělení odpovídá oblasti nízkých amplitud, tedy těm nejčtetnějším případům.

Při hledání vhodných charakteristik signálu se ukázalo

nejvhodnější použití charakteristiky četnost překročení, která velmi citlivě odráží změny parametrů ojednocování a má úzkou návaznost na nestejnoměrnost příze, jak bylo demonstrováno současným měřením nestejnoměrnosti dodávky a optické nestejnoměrnosti příze.

Praktické poznatky, které vyplynuly z provedené analýzy toku vláken na výstupu z ojednocovacího ústrojí lze shrnout takto:

- a) dodávku vláken tvoří skupiny vláken, jejichž obrazem jsou impulsy různé amplitudy a délky,
- b) v závislosti na stupni ojednocení se četnost skupin vláken a jejich délka mění. Lepší ojednocení znamená snížení počtu komplexů vláken v dodávce, což se projeví poklesem vyšších amplitud v signálu - sníží se četnost překročení na vyšších hladinách.

Na proces ojednocování mají rozhodující vliv následující faktory, které budou uvedeny v pořadí odpovídajícím míře vlivu.

- c) Potahy vyčesávacího válce. Jak vyplynulo z experimentálních prací, tento parametr silně ovlivňuje ojednocování. Ukázalo se, že ojednocovací účinek jehličkových potahů je vyšší než u potahů vinutých pilkových při jinak stejných technologických podmínkách. U potahu má velký vliv úhel čela zubu, event. úhel sklonu jehel. Výběr potahu je nutné provádět ve vztahu ke zpracovávanému vlákennému materiálu. Z pohledu ojednocovací schopnosti potahu se budou jevit lepší potahy s větším sklonem čela zubu, např. OK 40. Je však nutné přihlížet i k dalším technologickým ukazatelům, k nimž patří namáhání vláken při ojednocování. Z toho plyne použití potahů OK 40, OK 61 pro ojednocování bavlny a potahů OK 36, OK 37, event. OK 45 pro chemická vlákna a směsi. Jehličkové potahy jsou zajímavé svojí ojednocovací schopností i při nízkých otáčkách, což je příznivá vlastnost z důvodů namáhání vláken.

d) Objemový průtok vzduchu v dopravním kanále Q_D

Množství vzduchu procházející dopravním kanálem a tím i oblastí snímání vláken pozitivně ovlivňuje ojednocování. Účinek vzduchu se uplatňuje v oblasti snímání vláken z potahu a dodatečným průtahem při přechodu vláken do dopravního kanálu. Měření ukázala, že pozitivní účinek vzduchu je nejúčinnější v rozsahu $1,5 - 2,2 \text{ l.s}^{-1}$. Další zvyšování Q_D přispívá již malou měrou. Vzhledem k tomu, že výroba potřebného podtlaku na spřádací jednotce, který je nutný k zabezpečení určitého objemového průtoku vzduchu je energeticky náročná záležitost, pak uvedené zjištění má svůj ekonomický význam.

e) Otáčky vyčesávacího válce jsou v pořadí třetím parametrem, který prokazatelně působí na ojednocování. U tohoto parametru je při hledání optimální hodnoty nutno přihlížet k typu zpracovávané suroviny, typu potahu. Růst otáček sice zvyšuje stupeň ojednocení, ale znamená zároveň větší namáhání vláken. Kromě toho u spřádacích jednotek s vylučováním nečistot může dojít při vysokých otáčkách vyčesávacího válce k vylučování vláken a tím ke zhoršení skladby vyloučeného odpadu. Měření ukázalo podstatně vyšší citlivost pilkových potahů k otáčkám ve vztahu k ojednocení, než potahů jehličkových.

f) Geometrie rozčesávací zóny vymezuje prostor pro vstup vláken a oblast vzájemného působení potahu na vlákennou tříseň. Tato oblast spolu s potahem určuje základní ojednocení. S ohledem na namáhání vláken a stupeň ojednocení se jeví optimální geometrie rozčesávací zóny, která vyplynula z experimentu uvedeného v této práci a je předmětem vynálezu PV 4845-78. Uvedený typ rozčesávací zóny je již realizován ve výrobě u spřádacích jednotek CE II a BDA 1.

Ekonomický přínos uvedené analýzy, kromě zjištěných poznatků je v tom, že vznikla měřicí metoda a zařízení, které umožňuje operativně a objektivně hodnotit proces ojednocování. Využívání této metody se stalo nedílnou součástí výzkumných prací na spřádací jednotce. Tímto způsobem bylo např. analyzováno 24 typů pilkových potahů. Podle výsledků měření pak byly vyčleněny potahy s dobrými výsledky a předány k širšímu ověření výpředovou zkouškou. Tím vznikla značná časová i materiálová úspora. V současné době je vybudováno pracoviště k testování potahů vyčesávacích válců, kde je možné velmi rychle porovnat nové typy potahů, různé povrchové úpravy atd. se standardními potahy pro jednotlivé druhy zpracovávaných vláknenných materiálů. Jak bylo již uvedeno, další možnosti využití jsou při optimalizaci z hlediska vzduchového režimu a otáček vyčesávacího válce.

Přes pokročilý stupeň realizace rotorové technologie objevují se stále nové problémy i v oblasti ojednocování. Zejména zavedení různých způsobů odlučování nečistot v ojednocovacím ústrojí přineslo s sebou zcela nový okruh otázek a problémů. Trvá tedy i nadále potřeba zkoumat vnitřní souvislosti procesu ojednocování a to nejen vzhledem k dosaženému stupni výrobou již realizovanému, ale hlavně z hlediska prognostického.

8.0 Literatura

8.1 Práce publikované autorem

a) Výzkumné zprávy VÚB

1. Rozbor úrovně poznání ojednocovacího procesu na roto-
rové spřádací jednotce
(září 1981)
2. Metody pro hodnocení diskrétního toku vláken
(březen 1981)
3. Měření nestejnoměrnosti toku vláken v dopravním kanále
spřádací jednotky BDA pro různé geometrie rozčesávací
zóny
(srpen 1982)
4. Měření nestejnoměrnosti dodávky v dopravním kanále
ojednocovacího ústrojí spřádací jednotky s otáčkami
rotoru $n_R = 75\ 000\ \text{min}^{-1}$
(březen 1981)
5. Měření nestejnoměrnosti dodávky v dopravním kanále
ojednocovacího ústrojí spřádací jednotky CU
(březen 1982)
6. Měření vlivu potahu vyčesávacího válečku na nstejnoměr-
nost dodávky a příze
(březen 1983)
7. Studie nestejnoměrnosti dodávky chemických vláken
(PESs, VSs) v přívodním kanále ojednocovacího ústrojí
spřádací jednotky BDA
(červen 1979)
8. Analýza toku vláken v dopravním kanále spřádací jed-
notky PSJ 2
(červen 1983)

b) Články v časopisech

1. RIPKA, J., OHLÍDAL, V.: Experimentalstudie der Feinheitss-Charakteristiken des diskreten Faserflusses im Zuführkanal den OE-Spinneinheit Typ BD 200
Textil Praxis 1978, č. 10, 11; 1979, č. 2, 5
2. RIPKA, J., OHLÍDAL, V.: Registrace přetrhu na bezvřetenové spřádací jednotce
Textil 1981, č. 12
3. OHLÍDAL, V., LIHTAROVÁ, L.: Silové působení vyčesávacího válečku a vláken při ojednocování u rotorové spřádací jednotky
Textil 1983, č. 9

c) Přihlášky vynálezů

1. PV 569-73 OHLÍDAL, V., RIPKA, J., KORBÁŘ Z.: Způsob a zařízení pro měření otáček příze u bezvřetenových dopřádacích strojů
2. PV 8656-74 RIPKA, J., OHLÍDAL, V. a další: Způsob měření a kontroly nestejnoměrnosti příze a hmotných vad v přízi na spřádacím stroji pro bezvřetenové předení se spřádacím rotorem a zařízení k provádění tohoto způsobu
3. PV 5858-71 MARŠÁLEK, M., BRYNDA, V., OHLÍDAL, V. a další: Způsob ojednocování vlákenného útvaru ojednocovacím ústrojím a zařízení pro kontinuální bezvřetenové spřádání a zařízení k provádění tohoto způsobu
4. PV 4845-78 RIPKA, J., OHLÍDAL, V. a další: Zařízení pro ojednocování staplových vláken

8.2 Ostatní použitá literatura

- /1/ ROHLENA, V. a kol: Bezvrětenové předení, SNTL, Praha 1974
- /2/ LANGE, G.: Fasertransport im Luftstrom von Auflösevorrichtungen für das OE-Spinnen.
Textiltechnik, 1977, č. 12, s. 752-760
- /3/ COLL TORTOSA, L., PHOA, T., T.: I. Die Untersuchung des Lufthaushaltes in der OE-Rotorspinnmaschine
II. Der aerodynamische Fasertransport im Faserleitkanal der OE-Rotorspinnmaschine
Závěrečná zpráva Ústavu pro textilní techniku RWTH, Gáchy 1979
- /4/ VÚB - Výzkumná zpráva o řešení úkolu G-3-27-2, stroj BDA, 1970
- /5/ BENEŠ, J.: Statistická dynamika regulačních obvodů, SNTL, Praha 1961, s. 336
- /6/ BALDA, M., BOŠEK, B., DRÁB, Z.: Základy automatizace I., SNTL, Praha 1968, s. 208
- /7/ SEVOSTJANOV, A., G.: Nekotoryje voprosy teorii pneumomechaničeskogo prjadenija. Izvjestija vyššych učebnych zavedenij, 1971, č. 3, s. 47-54
- /8/ SEVOSTJANOV, A., G., NIKOROV, P., V.: Issledovanije procesa diskretizacii na mašinach BD 200. Textilnaja promyšlennost', 1974, č. 2, s. 20-22
- /9/ LANGE, G., REUTER, K.: Untersuchungen zur Beanspruchung von Fasermaterialien durch Auflösevorrichtungen von OE-Spinnmaschinen
Textiltechnik 25 /1975/, č. 5, s. 285-289
- /10/ OHLÍDAL, V., LIHTAROVÁ, L.: Silové působení vyčesávacího válečku a vláken při ojednocování u rotorové spřádací jednotky.
Textil 1983, č. 9, s. 305-308

- /11/ URSÍNY, P.: Teoretická studie k problematice uvolňování vláken z pramene za působení vyčesávacího válečku při BD předení. VŠST, Liberec, Zpráva výzkumného úkolu 1974
- /12/ KUBICA, H.: Analiza procesu rozwloknięcia w bezwzrzedionowych metodach przedzenia. Przegląd włókienniczy 1976, č. 8, s. 384-387; č. 9, s. 431-434
- /13/ KAWABATA, S.: Theoretical Consideration in Open-end Spinning.
Journal of the Textile Institute, 1973, č. 3
- /14/ URSÍNY, P.: Pravděpodobnostní analýza vláknenného toku v rotorovém spřádacím systému. Sborník prací VŠST Liberec 1978, s. 327-333
- /15/ LÜNENSCHLOSS, J., COLL-TORTOSA, L., PHOA, T., T.: Die Untersuchung der Faserströmung im Faserleitkanal einer OE-Rotorspinmaschine.
Chemiefasern/Textilindustrie, 24/76 (1974), s. 355-358, s. 478-485
- /16/ LÜNENSCHLOSS, J., COLL-TORTOSA, L., SIERSCH, E.: Faserströmung und Faserorientierung im Leitkanal einer OE-Rotorspinmaschine.
Chemiefasern/Textilindustrie, 26/78 (1976), s. 965-975
- /17/ FUJIO KONDA, SHINYA KUROSAKI: Weight Distribution of Fiber Assemblies Separated from Slivers.
Journal of the Textile Machinery Society of Japan 1976, č. 9, s. 132-138
- /18/ OHLÍDAL, V.: Měření rychlosti toku vláken metodou křížové korelace. Interní zpráva VÚB 1978
- /19/ MIRSKIJ, G., J.: Aparaturnoje opredělenije charakteristik slučajnych procesov.
Energije, Moskva 1967

- /20/ MATYÁŠ, V.: Měření, analýza a vytváření náhodných procesů. SNTL, Praha 1976
- /21/ LEVIN, B., R.: Teorie náhodných procesů a jejich aplikace v radiotechnice, SNTL, Praha 1965
- /22/ GMURMAN, V., E.: Teorija věrojatnostěj i matematičeskoj statistiky. Moskva 1977
- /23/ LANGE, F., H.: Korrelationslektronik, VEB Verlag Technik, Berlín
- /24/ OSMIN, N. A.: Technologija tekstilnoj promyšlennosti 1966, č. 4, s. 38-42
- /25/ BRENÝ, H.: Annales Textiles, č. 4 - 12/57, s. 58-88
- /26/ GIESEKUS, H.: Die statistische Analyse der Garn und Fadenungleichmässigkeit. Faserforschung und Textiltechnik 10/1959/, s. 275-282, 338-345, 359-368, 420-429, 598
- /27/ WEGENER, W.: Die Autokorelationsfunktion tatsächliche Faserverbände. Melliand Textilberichte, 10/52 (1971), s. 1132-1137
- /28/ WEGENER, W.: Die Autokorelationsfunktion von Modell Faserverbänden. Melliand Textilberichte, 9/52, (1971), s. 1006 - 1013
- /29/ FUJINO, K., KAWABATA, S.: Theoretical Analysis on the Spectral Density of Random Slivers. Journal of the Textile Machinery Society of Japan, 1959, č. 1, s. 1-9
- /30/ WEGENER, W., GUSE, R.: Die experimentelle Bestimmung des Leistungsdichtespektrums von Faserverbänden. Textil Praxis 1970, č. 2, s. 89-92, č. 3, s. 154-159
- /31/ SEVOSTJANOV, A., G.: Metody isledovanija nerovnoty produktov prjadenija. Moskva 1962

- /32/ RIPKA, J., OHLÍDAL, V.: Experimentelstudie der Feinheitseigenschaften des diskreten Faserflusses im Zuführkanal der OE-Spinneinheit Typ BD 200. Textil Praxis 1978, č. 10, s. 1186-1188, č. 11, s. 1344 - 1352, 1979, č. 2, s. 120-127, č. 5, s. 518-521
- /33/ OHLÍDAL, V.: Spektrální analýza dodávky vláken v kanále ojednocovacího ústrojí. Interní zpráva VÚB 1969
- /34/ WEGENER, W.; HOTH, E., G.: Die Überschreitungshäufigkeit. Melliand Textilberichte 1969, č. 5, s. 496-499, č. 6, s. 613-618, č. 9, s. 1015-1019, č. 12, s. 1412-1414
- /35/ WEGENER, W.; VOGT, H. J.: Ein neues Verfahren zur Charakterisierung der Garnungleichmässigkeit. Melliand Textilberichte 1968, č. 4, s. 399-405, č. 5, s. 519-523
- /36/ KLEMM, REICHL, SPIEGEL: Statistische Kontrollmethoden in der Textilindustrie. VEB Fachbuchverlag Leipzig 1961
- /37/ TICHOMIROV, V., B.: Planirovanije i analiz experimenta. Moskva, Legkoja industrija, 1974
- /38/ ARTZT, P., EGBERS, G.: Technologie des Rotorspinner. Melliand Verlag, 1979
- /39/ VENTCELOVÁ, J., S.: Teoria pravděpodobnosti. ALFA Bratislava 1973
- /40/ RUMŠISKIJ, L., Z.: Matěmaticeskaja obrabotka rezultatov eksperimenta. Nauka, Moskva 1971
- /41/ MILITKÝ, J., SALAČ, O.: Základní statistické metody I. DT ČSVTS, Pardubice 1982
- /42/ TICHONOV, V., I.: Statističeskaja radiotekhnika, Moskva 1966
- /43/ LOCHER, H., ERNST, H.: Analitätstkontrolle und Überwachung der Garnreinheit in der Spinnerei. Melliand Textilberichte 1971, č. 1, s. 12-25

- /44/ MIRONĚNKO, A., V.: Fotoelektričeskije izměritěl'nyje sistemy. Energija, Moskva 1967
- /45/ IZNAR, A., N.: Elektronno-optičeskije pribory. Moskva 1977
- /46/ SVEČNIKOV, S., V.: Základy optoelektroniky, SNTL Praha 1975
- /47/ MIHÁLKA, P.: Optoelektronika. ALFA Bratislava 1981