



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Měření a vyhodnocení hmotnostní nestejnomyšernosti lineárních textilních útvarů

Autoreferát disertační práce

2006

Pavel Klouček

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Měření a vyhodnocení hmotnostní nestejnomyšernosti lineárních textilních útvarů

Ing. Pavel Klouček

Studijní program : P 2612 Elektrotechnika a informatika

Studijní obor : 2612V045 Technická kybernetika

Pracoviště : Katedra měření

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských
studií

Technická univerzita v Liberci

Hálkova 6, 461 17 Liberec 1

Školitel : Doc. Ing. Miroslav Svoboda

Rozsah disertační práce

Počet stran : 79

Počet příloh : 1

Počet obrázků : 63

Počet tabulek : 3

listopad 2006

Obsah

1. Úvod	5
1.1 Současný stav problematiky	5
1.2 Cíle práce	6
2. Délková hmotnost lineárních textilních útvarů, základní metody měření a hodnocení její nestejnoměrnosti	6
3. Princip měření délkové hmotnosti pramenů pomocí odporové protahovací síly	7
3.1 Převodní funkce odporová protahovací síla - délková hmotnost pramene	8
3.1.1 Určení optimální převodní funkce	8
3.1.2 Porovnání teoretické a naměřené převodní funkce	9
3.2 Vlivy působící na tvar převodní funkce odporová protahovací síla – délková hmotnost pramene	12
3.2.1 Vliv rychlosti průchodu pramene zhušťovačem	12
3.2.2 Vliv materiálu pramene a technologie jeho zpracování	13
3.2.3 Vliv rozměrů zhušťovače	14
3.2.4 Vliv materiálu zhušťovače	17
3.3 Porovnání s principem měření tlakové síly	18
4. Měřicí zařízení pro hodnocení kvality pramenů PAPEON ^{SliverTester}	20
4.1 Základní princip	20
4.2 Realizace	21
4.3 Měřicí a vyhodnocovací software	22
4.4 Provozní zkoušky	23
5. Měření a hodnocení hmotnostní nestejnoměrnosti pramene na výstupu mykacího stroje	24
5.1 Konstrukční provedení	24
5.2 Kalibrace snímačů	26
Závěr	28
Seznam literatury	29
Přehled publikovaných prací	30
Annotation	31

1. Úvod

V současném vývoji textilního průmyslu dochází k rychlému nárůstu nároků na produkováný objem i kvalitu produkce textilií. S tím se přímo pojí také nutnost sledování kvality meziproduktů, tedy přízí, přástů a pramenů. Zvyšování objemu výroby je dosahováno zvýšením provozních rychlostí strojů, což s sebou nese nutnost kvalitnějšího a rychlejšího měření a řízení jednotlivých procesů (mykání, česání, posuk aj.), aby nedocházelo k poklesu kvality výroby. Vzniká tak potřeba parametry textilních meziproduktů měřit inovovanými nebo zcela novými principy, případně nahrazovat mechanické snímače elektrickými snímači neelektrických veličin, protože mechanické snímače díky svým velkým hmotám (tedy i momentům setrvačnosti) a nízkým vlastním frekvencím nejsou schopny na rychlejších strojích měření zajistit. Hlavním důvodem instalace elektrických snímačů je potřeba získat vstupní signály pro elektronické regulační obvody strojů, a to nejčastěji ve formě napěťových nebo proudových signálů, a také provádění kontrolního měření pro ověření kvality produktu nebo suroviny. Také v oblasti vyhodnocování kvality dochází ke zvyšování nároků. Zejména rychlost získání výsledků je důležitým kritériem, protože každá větší časová prodleva daná odstávkou stroje nebo doba po kterou stroj produkuje materiál nespňující kvalitativní požadavky je spojena s finanční ztrátou. V současné době se pro hodnocení kvality pramenů a přástů stále nejčastěji používají metody a grafy zavedené před desítkami let, jejichž vypovídací schopnost již není v některých případech dostatečná. Míra dostupné informace z těchto grafů byla omezena možností analogových měřicích a vyhodnocovacích obvodů a výpočetní kapacitou tehdejších měřicích zařízení. Tento styl vyhodnocení se v textilní praxi hluboce zakořenil a v téměř nezměněné podobě se využívá dodnes, jeho vypovídací schopnost však začíná být v současné době nedostačující. V podstatě jediným rozšířeným průmyslovým měřidlem kvality, a tedy i určovatelem metod hodnocení, je dnes měřicí aparatura Uster Tester firmy Zellweger Uster, A.G. a její klony produkované v Asii.

1.1 Současný stav problematiky

Pro měření a hodnocení kvality textilních pramenů byla vyzkoušena nebo použita celá řada metod založená na nejrůznějších principech. Naprostá většina z nich však postupně z praxe mizela pro nespolehlivost, cenu nebo již nedostačující parametry. V současné době se na mykacích strojích pro regulaci používají zejména modifikovaný mechanický princip měření a tenzometrické snímače. V regulaci s použitím tenzometrických snímačů však není uvažována nelinearita závislosti mezi délkovou hmotností pramene a odporovou protahovací silou. Například firma Zellweger Uster, A.G. řeší tento problém částečnou linearizací použitím široké škály výměnných zhušťovačů, což je řešení kvalitativně nedostačující. Při časté změně zpracovávaného materiálu nebo požadované výstupní jemnosti to vede k nutnosti výměny dílů zajišťujících změnu měřicího rozsahu, což bývá v praxi mnohdy opomíjeno a měřený signál určený jako vstupní signál pro regulaci je pak zatížen velkou chybou. I v literatuře je vztahu mezi odporovou protahovací silou a délkovou hmotností pramene věnováno málo pozornosti, základní teoretické vztahy se objevily v době zavedení tohoto měřicího principu, dnes se však tato problematika neobjevuje ani v patentových přihláškách snímačů na principu odporové protahovací síly, ani ve firemní literatuře výrobců mykacích strojů a její souhrnný popis v dostupné literatuře také nelze nalézt.

Pro hodnocení kvality pramenů se dnes téměř výhradně používá měřicí aparatura Uster Tester firmy Zellweger Uster A.G. založená na kapacitním principu. Ta je však určena pouze pro laboratorní měření vzorků s nutností ustalovat jejich vlhkost na konstantní hodnotu mnohahodinovým uskladněním v klimatizovaných prostorech díky silné závislosti kapacitního

principu na vlhkosti měřeného materiálu. Tato aparatura také neumožňuje měřit skutečné hodnoty délkové hmotnosti pramenů, pouze procentuální odchylky od střední hodnoty hmotnosti. Cenově se tato měřicí aparatura pohybuje v řádech milionů korun a proto si ji malé soukromé firmy nemohou dovolit. Hodnocení kvality pramenů tak buď neprovádí vůbec a nebo v intervalech řádově týdnů ve spolupráci s velkými textilními podniky, které Uster Tester vlastní. Cenově dostupný servisní přístroj umožňující operativní proměření kvality pramene přímo u stroje se běžně na trhu nevyskytuje.

1.2 Cíle práce

Hlavním cílem práce je komplexní studie měření délkové hmotnosti pramene snímačem na principu odporové protahovací síly. Důraz byl kladen zejména na podrobnější prozkoumání a popis závislosti mezi délkovou hmotností pramene a odporovou protahovací silou. Tato závislost byla v dostupné literatuře popisována dosud velice stručně a zjednodušeně. Snahou bylo i shrnout zkoumání vlivů působících na velikost odporové protahovací síly, míru jejich významnosti a případné způsoby kompenzace.

Druhou částí práce je praktické využití teoretických poznatků, zejména při vývoji přenosného měřicího zařízení pro měření délkové hmotnosti pramenů na principu měření odporové protahovací síly, které by bylo určeno pro operativní servisní měření přímo u stroje. Řešeny jsou i metody hodnocení kvality pramenů a kalibrace přístroje, umožňující měřit absolutní hodnoty délkové hmotnosti pramenů i přes silně nelineární závislost mezi délkovou hmotností a odporovou protahovací silou. Cílem bylo vyvinout cenově dostupný měřicí přístroj použitelný v praxi.

Metoda měření délkové hmotnosti pramene pomocí odporové protahovací síly byla realizována i u průtažného ústrojí nově vyvíjeného mykacího stroje. Měřená délková hmotnost byla využita jako vstupní signál regulace u řízeného průtažného ústrojí.

2. Délková hmotnost lineárních textilních útvarů, základní metody měření a hodnocení její nestejnomy

Hlavními parametry ovlivňujícími délkovou hmotnost materiálu jsou hmotnost vláken a jejich počet v příčném průřezu vzorku. Kolísáním počtu vláken v průřezu vzniká délková hmotnostní nestejnomy. Vysoká hmotnostní nestejnomy pramene ovlivňuje nepříznivě výsledný produkt, tj. přízi, a to jak z hlediska mechanických vlastností (zejména pevnost), tak vzhledu (kolísání průměru příže může způsobit pruhovitost látky, Moiré efekt apod.). Její měření a následné snižování zejména vřazením regulačních obvodů do procesu a opravou vadných mechanismů strojů je tedy nutným technologickým krokem.

Při měření hmotnostní nestejnomy pramenů se v závislosti na použitém principu kromě počtu a hmotnosti vláken v průřezu uplatní i další vlastnosti materiálu, jako jsou míra paralelizace a napřimenosti vláken, počet háčků, chlupatost, velikost mezivláčenného tření, ale i vlhkost pramene, teplota apod. Ve většině praktických realizací se přistupuje k měření odchylky délkové hmotnosti od střední hodnoty, čímž se eliminuje pravděpodobně největší procento parazitních vlivů, schází ale údaj o skutečné hodnotě délkové hmotnosti vyrobeného produktu.

Principů pro měření délkové hmotnosti pramenů se objevila celá řada. Nejstarší je princip mechanický, kde je hmotnost pramene úměrná průřezu drážky mezi pevnou a pohyblivou rolnou. Problémem byly zejména velké hmoty snímače a tedy nízká vlastní frekvence. Dalším principem byl pneumatický, založený na vztahu mezi délkovou hmotností pramene a jeho pneumatickým

odporem (pasivní pneumatický princip) a nebo tlakovým spádem (aktivní pneumatický princip). Optický princip založený na prosvětlování vzorku trpěl velmi špatnou opakovatelností zejména kvůli silné nehomogenitě pramene. Kapacitní princip pracující jako kondenzátor se složeným dielektrikem pramen-vzduch umístěný do laděného rezonančního obvodu je dnes základem laboratorních měřicích přístrojů, pro měření ve výrobě je však nevhodný kvůli silné závislosti na vlhkosti vzorku. U principu měření odporových protahovacích sil, kterému je věnováno jádro práce, se měří odporová síla nebo deformace vyvolaná protažením pramene zhušťovačem. U měření tlakových sil se jedná o měření tlakové síly vyvolané pramenem stlačeným do definovaného objemu, např. při průtahu podélně děleným válcovým vedením.

Pro hodnocení hmotnostní nestejnoměrnosti pramenů se již přes třicet let používají v praxi téměř výhradně přístroje Uster Tester švýcarské firmy Zellweger Uster A.G. založené na kapacitním principu. V textilní praxi se zavedly jako standardní vyhodnocovací metody pro prameny grafický záznam procentuálních odchylek délkové hmotnosti (hmotnostní diagram), variační křivka délkových změn CV(L) nebo tabulkové hodnoty jednotlivých variačních koeficientů CV a sloupcový spektrogram. Nově se objevuje ještě histogram.

3. Princip měření délkové hmotnosti pramenů pomocí odporové protahovací síly

Tato metoda byla poprvé předložena K.Mihirou a H. Takedou v roce 1958 [2]. Metoda je založena na závislosti mezi délkovou hmotností pramene a odporovou silou při jeho protažení zhušťovačem s kalibrovaným otvorem. Teoreticky lze uvažovat tři základní tvary zhušťovačů: válcové, kuželové a trychtýřové. Příčný průřez je uvažován vždy kruhový, protože u něj lze zajistit rovnoměrné zaplnění v celém průřezu a je také výrobně nejjednodušší.

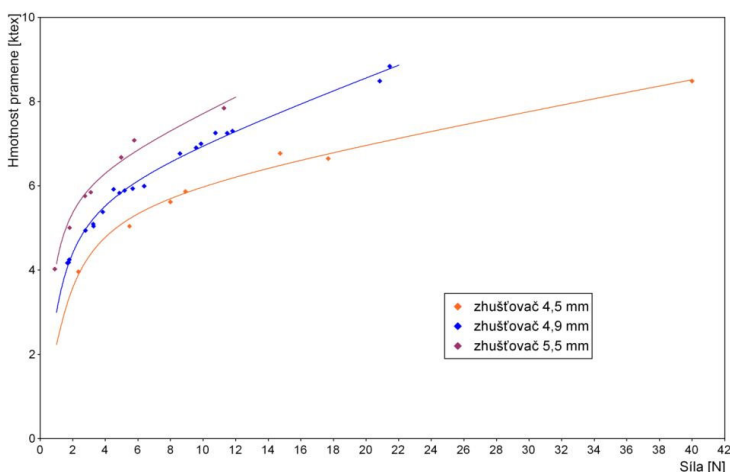
Základní teoretický vztah mezi délkovou hmotností pramene a odporovou protahovací silou má pro všechny tři typy zhušťovačů základní tvar kubické funkce $F = a_1 \gamma^3 - a_2$, kde a_1 , a_2 jsou konstanty dané vlastnostmi pramene a rozměry zhušťovače. U válcového zhušťovače je problematické zavedení pramene. Kuželový zhušťovač vyvolá při srovnatelných rozměrech výrazně nižší odporovou protahovací sílu pro stejnou délkovou hmotnost pramene a má tak nižší rozlišení. Zavedení pramene je však při vhodně zvoleném úhlu zhušťovače snadné. V praxi se tedy používá kombinace obou, tedy zhušťovač trychtýřový. Kužel na vstupu zajistí dobré zavedení pramene a válcová část dobrou citlivost snímače.

U prvních realizovaných snímačů bylo měřeno stlačení pružiny, ve které byl osazen zhušťovač. Problémem byla nedefinovaná poloha zhušťovače a větší vzdálenost odtahovacích válečků díky velkému zdvihu pružiny. S rozšířením tenzometrie vzniklo nové uspořádání v provedení jako vetknutý nosník na jednom konci pevně uchycený k rámu stroje a na druhém konci osazený zhušťovačem. V místě největší deformace je osazen plný tenzometrický můstek. Snímače s tímto principem se začaly ve VÚTS Liberec, a.s. vyrábět na základě licence firmy Gunter&Cook. S vývojem nových průtažných zařízení mykacích strojů probíhal ve VÚTS Liberec, a.s. vývoj dalších generací těchto snímačů zejména s důrazem na lepší dynamické vlastnosti. V současné době probíhá výroba páté generace snímačů s označením TRM VÚTS 5, která byla navrhována s využitím metody konečných prvků. Vlastní frekvence těchto snímačů vzrostla na cca 900 Hz. Snímač TRM VÚTS 5 byl používán v měřeních provedených v rámci této práce.

3.1 Převodní funkce odporová protahovací síla - délková hmotnost pramene

K měření skutečných hodnot délkové hmotnosti pramene nebo jejich skutečných odchylek je nutné kompenzovat silnou nelineární závislost mezi odporovou protahovací silou a délkovou hmotností pramene. Základní teoretické vztahy publikované Mihirou a Takedou byly navrženy s řadou zjednodušujících předpokladů. Pro jejich zpřesnění a určení materiálových konstant byla provedena řada měření.

Pro první experimentální určení převodní funkce odporová protahovací síla – délková hmotnost pramene byly použity vzorky pramene vyrobené na jednom mykacím stroji s odstupňovanými středními délkovými hmotnostmi a tři průměry zhušťovačů. Pro možnost získání kalibrační křivky i pro jiné druhy pramenů, kde nelze vyrobit vzorky s odstupňovanou řadou délkových hmotností, byla prováděna měření, kde silnější prameny byly ručně rozděleny na více slabších vzorků a naopak slabší prameny druzeny do vzorků s vyšší délkovou hmotností. Měřením bylo ověřeno, že dělení a družení neovlivňuje výrazně chování pramenů, materiál si zachovává své vlastnosti při stlačování a takto získané body korespondují s kalibrační křivkou získanou měřením původní řady pramenů.



Obr.1 První naměřené body kalibračních křivek snímače TRM VÚTS 5 získané z odstupňované řady pramenů 100% bavlna mykaná z firmy Hybler Semily. Měření byly tři průměry zhušťovačů (4.5, 4.9 a 5.5 mm)

3.1.1 Určení optimální převodní funkce

Pro měření délkové hmotnosti pramene v absolutních hodnotách délkové hmotnosti (ktex) bylo nutné určit matematickou funkci, která by nejlépe aproximovala naměřené body kalibrační křivky v pracovním rozsahu snímače. Optimální tvar aproximačních funkcí byl určován experimentálně, jako významný člen pro aproximaci se ukázal být dekadický logaritmus. Jako optimální a postačující se jeví dvě podoby převodní funkce :

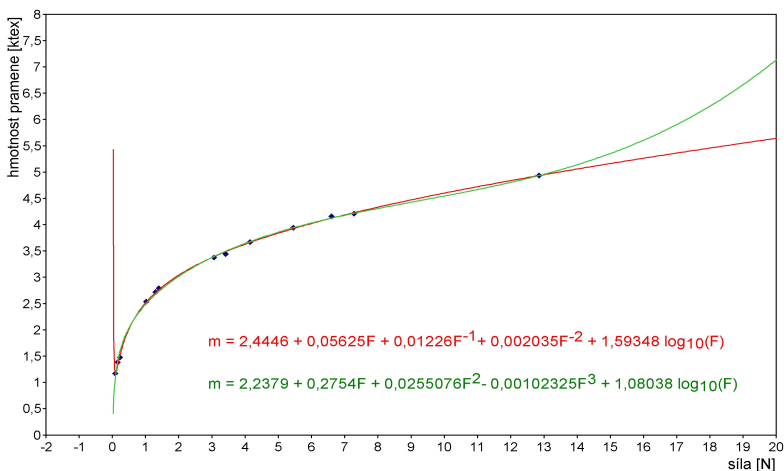
$$\gamma = C_1 + C_2F + C_3F^{-1} + C_4F^{-2} + C_5 \log_{10}(F) \quad (3.1)$$

nebo

$$\gamma = K_1 + K_2F + K_3F^2 + K_4F^3 + K_5 \log_{10}(F) \quad (3.2)$$

kde γ [ktex] délková hmotnost pramene
 F [N] odporová protahovací síla
 C_x a K_x konstanty pro daný materiál a zhušťovač

První tvar funkce je výhodnější, objevují-li se během měření i špičkové síly vyšší než použité při kalibraci, protože funkce monotónně limituje k meznímu zaplnění zhušťovače. Problematické je však použití u hodnot blízkých nule, protože se ve většině případů v hodnotách kolem 1N lomí a směrem k nulové síle roste do vysokých hodnot hmotnosti (převládnu faktory C_3F^{-1} a C_4F^{-2} nad lineární složkou a logaritmem). To způsobuje problémy s nesprávným údajem např. pro nezatížený snímač a může způsobovat chyby v regulaci. Řešením je například omezení pásma použití této funkce pro regulaci a pro síly nižší než cca 1 až 2N uvažovat hmotnost pramene jako nulovou. To je realizovatelné například v regulačním obvodu mykacího stroje, protože významnější pokles odporové síly mimo pracovní rozsah je uvažován jako chybový stav a stroj se zastavuje. Druhý tvar funkce v oblastech malých sil monotónně klesá k nulové hmotnosti, pro síly vysoké však mění svůj charakter z konkávní na konvexní a prudce roste. Při použití snímače v předpokládaném rozsahu 4 až 10N jsou však obě funkce prakticky identické (máme-li k dispozici body kalibrační křivky v dostatečném rozsahu i mimo tyto meze) a lze použít libovolnou z nich. Korelační index těchto funkcí se pohybuje v hodnotách nad 0,998 pro všechny měřené materiály pramenů.



Obr.2 Porovnání obou typů aproximační funkce tvořících kalibrační křivku zhušťovače průměru 3,5mm pro materiál 100% bavlna mykaná ze stroje UNIREA s průtahem VÚTS.

3.1.2 Porovnání teoretické a naměřené převodní funkce

Uvažujeme-li teoretické vztahy pro trychtýřový zhušťovač a upravíme je tak, aby byla vyjádřena závislost hmotnosti pramene na odporové protahovací síle, získáme výraz

$$\gamma = \sqrt[3]{\frac{F + (a_2 + b_2)}{a_1 + b_1}} \quad (3.3)$$

kde

$$a_1 + b_1 = \frac{64\alpha \mu l}{\pi^2 D_0^5 \rho^3} + \frac{8\alpha}{\mu \rho^3 \pi^2} (\mu \cot g\theta + 1) \left[\frac{1}{D_0^4} - \frac{1}{D_1^4} \right] \quad (3.4)$$

$$a_2 + b_2 = \alpha \mu \pi D_0 l \omega_0^3 + \frac{\alpha \pi}{4\mu} (\mu \cot g\theta + 1) [D_1^2 - D_0^2] \omega_0^3 \quad (3.5)$$

Pro porovnání naměřených převodních funkcí s teoretickými vztahy byla provedena řada měření, kdy byly naměřeny převodní funkce pro materiál 100% bavlna mykaná a 100% PES bílý Grisuten ze stroje UNIREA s průtažným zařízením VÚTS a pro sadu zhušťovačů o průměrech 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5 a 7 mm.

Jsou-li rozměry zhušťovačů známy, mohou velikost parametrů a_1 , a_2 , b_1 , b_2 ovlivnit tyto faktory: hustota vláken ρ , koeficient tření μ , materiálová konstanta α a počáteční zhuštění ω_0 .

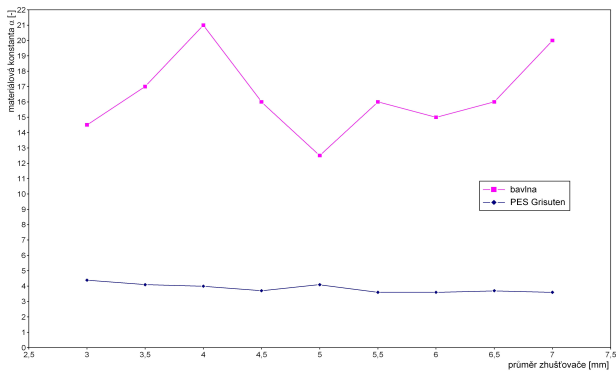
Nejprve byly naměřené body všech křivek pro různé průměry zhušťovačů prokládány teoretickou funkcí s konstantními parametry α a ω_0 pro jeden materiál pramene. Nejlepší aproximace (s nejvyššími korelačními koeficienty) bylo dosaženo s parametry $\alpha = 15,5$ a $\omega_0 = -0,04$ pro bavlnu a $\alpha = 2,32$ a $\omega_0 = -0,04$ pro PES Grisuten. Křivky však dobře prokládají naměřené body pouze v pásmu středních sil. Pro malé a velké síly se od naměřených průběhů poměrně výrazně odchyľují, a to zejména u větších průměrů zhušťovačů. To je způsobeno zejména množstvím zjednodušujících předpokladů, které byly uplatněny při návrhu teoretické funkce. Kvalitnější aproximaci lze dosáhnout doplněním teoretické funkce o konstantu γ_0 umožňující svislý posun křivek a určení koeficientů α , ω_0 a γ_0 samostatně pro každý měřený průměr zhušťovače. Modifikovaná teoretická funkce pak má tvar

$$\gamma = \sqrt[3]{\frac{F + (a_2 + b_2)}{a_1 + b_1}} + \gamma_0 \quad (3.6)$$

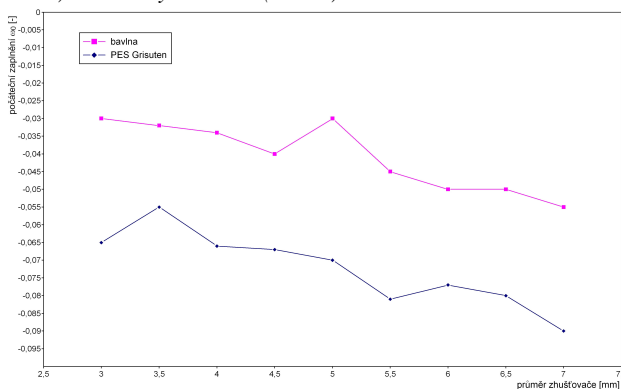
a jednotlivé koeficienty α , ω_0 a γ_0 určené pro daný materiál pramene a průměr zhušťovače jsou uvedeny v tabulce 1 a grafech na obrázcích 3 až 5.

průměr zhušťovače [mm]	bavlna			PES bílý Grisuten		
	materiálová konstanta α	počáteční zhuštění ω_0	posun γ_0 [ktex]	materiálová konstanta α	počáteční zhuštění ω_0	posun γ_0 [ktex]
3	14,5	-0,03	0,6	4,4	-0,07	1,0
3,5	17,0	-0,032	0,85	4,1	-0,055	0,95
4	21,0	-0,034	1,45	4,0	-0,066	1,3
4,5	16,0	-0,04	1,3	3,7	-0,067	1,2
5	12,5	-0,03	1,57	4,1	-0,07	1,7
5,5	16,0	-0,045	2,4	3,6	-0,081	1,57
6	15,0	-0,05	2,7	3,6	-0,077	1,7
6,5	16,0	-0,05	3,35	3,7	-0,08	2,0
7	20,0	-0,055	4,5	3,6	-0,09	2,1

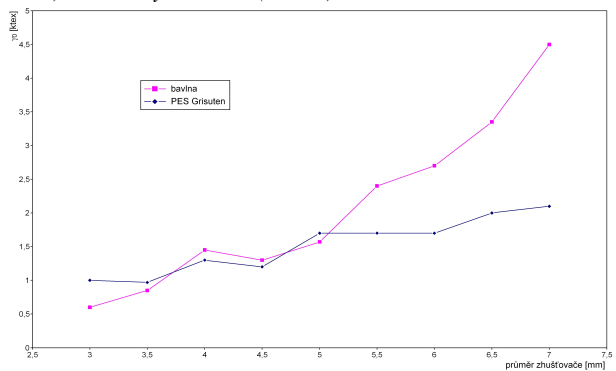
Tab. 1 Parametry určené pro teoretickou převodní funkci doplněnou o posun γ_0



Obr.3 Hodnoty materiálové konstanty a určené pro různé průměry zhušťovačů a materiál pramene 100% bavlna (červeně) a PES bílý Grisuten (modře).



Obr.4 Hodnoty počátečního zhuštění ω_0 určené pro různé průměry zhušťovačů a materiál pramene 100% bavlna (červeně) a PES bílý Grisuten (modře).



Obr.5 Hodnoty posunu γ_0 určené pro různé průměry zhušťovačů a materiál pramene 100% bavlna (červeně) a PES bílý Grisuten (modře).

Z grafů na obrázcích 3 až 5 je patrné, že hodnoty pro materiál PES Grisuten jsou vyrovnanější než u materiálu 100% bavlna, zejména u materiálové konstanty α . Průměrná hodnota materiálové konstanty α je pro materiál 100% bavlna $\alpha = 16,44$ a pro materiál PES Grisuten $\alpha = 3,866$, tedy vyšší než hodnoty určené jako konstantní pro kompletní sadu zhušťovačů. U materiálu PES Grisuten je také dobře patrný mírně klesající trend. Hodnoty počátečního zhuštění ω_0 mají pro oba materiály podobný sestupný charakter, v absolutních hodnotách se však liší. U bavlny jsou hodnoty téměř poloviční v porovnání s polyesterem a jsou i nižší oproti hodnotám cca 8% uváděným v literatuře. Počáteční zhuštění 8% (tedy $\omega_0 = -0,08$) dosahuje materiál PES Grisuten pro průměry zhušťovačů nad 5 mm. Pro bavlnu se hodnoty pohybují kolem 5%. U počátečního posunu γ_0 je patrný výrazně strmější nárůst hodnot pro bavlnu. Proti původní aproximaci s konstantními parametry lze dosáhnout výrazného rozšíření pásma shody aproximační funkce s měřením.

V tabulce 2 je uvedeno porovnání průměrných korelačních koeficientů pro aproximace teoretickou funkcí s konstantními parametry α a ω_0 , teoretickou funkcí s proměnnými parametry doplněnou o posun γ_0 a optimální aproximační funkcí podle vztahu (3.1). Korelační koeficient byl určen jako aritmetický průměr jednotlivých korelačních koeficientů pro sadu devíti zhušťovačů s odstupňovanými průměry otvorů. Z výsledků jsou patrné vysoké hodnoty korelačních koeficientů pro všechny tři způsoby aproximace, je ale také patrný nárůst korelačních koeficientů pro optimální převodní funkci oproti funkci teoretické a modifikované teoretické.

	teoretická funkce s konst. parametry	teoretická funkce s posunem γ_0	převodní funkce (3.1)
bavlna	0,997373	0,998526	0,999664
PES bílý Grisuten	0,996277	0,997540	0,999217

Tab.2 Hodnoty průměrných korelačních koeficientů pro aproximace teoretickou funkcí s konstantními parametry, pro funkci s proměnnými parametry doplněnou o posun γ_0 a pro optimální převodní funkci.

3.2 Vlivy působící na tvar kalibrační křivky odporová protahovací síla – délková hmotnost pramene

Vlivů, které teoreticky mohou ovlivnit naměřený signál hmotnosti pramene odvozený z velikosti odporové protahovací síly v přesném otvoru zhušťovače, je celá řada. Otázkou ovšem je, které z nich jsou ty opravdu podstatné, které je nutné při měření zohlednit, které lze vhodnou volbou parametrů nebo podmínek měření eliminovat a které jsou natolik nevýznamné, že je možné je zanedbat. Ve své práci jsem se pokusil shrnout alespoň ty nejpodstatnější a pomocí řady měření posoudit jejich charakter a významnost.

3.2.1 Vliv rychlosti průchodu pramene zhušťovačem

Tento vliv není v teoretických vztazích explicitně vyjádřen, vztahy jsou uvažovány jako statické. Lze uvažovat změnu dynamického koeficientu tření a také změnu vlastností pramene při stlačování, které jsou zahrnuty v konstantě α .

Vliv rychlosti pramene je důležitý zejména na mykacím stroji, kde se rychlost průchodu pramene snímačem mění v širokém rozsahu v závislosti na různých pracovních režimech stroje. Je-li snímač použit pouze pro měření odchylek hmotnosti pramene, lze vliv rychlosti zanedbat. Pro určení absolutní hodnoty jemnosti pramene by bylo nutné vliv rychlosti zohlednit při přechodu do režimů s výrazně odlišnými rychlostmi pramene. Kolísání rychlosti v rámci jednoho režimu vlivem regulačních zásahů apod. je vlivem zanedbatelným.

U vyvíjeného měřicího přístroje založeného na principu odporové protahovací síly je rychlost pramene konstantní a její vliv tedy eliminován.

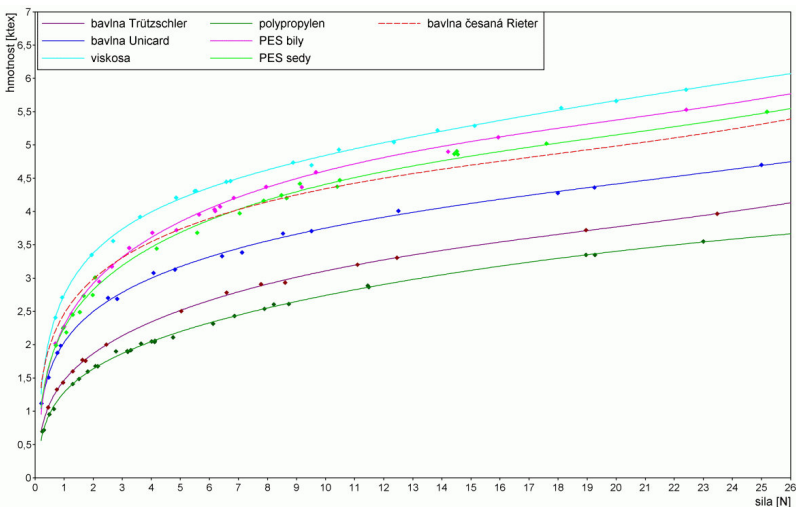


Obr.6 Vliv rychlosti na měřenou hodnotu délkové hmotnosti mykaného pramene v porovnání se skutečnou hmotností zjišťovanou vážením úseků.

3.2.2 Vliv materiálu pramene a technologie jeho zpracování

Jedná se o jeden z hlavních faktorů ovlivňujících tvar převodní funkce. U materiálu pramene se uplatní zejména koeficient mezivláčenného tření a tuhost vláken, technologie zpracování ovlivní zejména míru paralelizace vláken, počet háčků, míru rozvolnění atd. Tyto faktory určují pro daný vzorek odpor ke stlačení v příčném směru. V teoretických vztazích bude ovlivněna zejména materiálová konstanta α , také hustota vláken ρ a míra počátečního zaplnění γ_0 .

Pro zhušťovač o průměru 3.25 mm byly přístrojem Papeon^{SliverTester} (přístroj vyvinutý ve VÚTS Liberec, a.s. pro provozní měření kvality pramenů) naměřeny kalibrační křivky délková hmotnost pramene - odporová protahovací síla pro několik druhů materiálů.



Obr.7 Porovnání vlivu materiálu pramene na tvar kalibračních křivek. Použitý snímač a zhušťovač průměru 3.25 mm byly vždy stejné.

Z naměřených průběhů je patrné, že pro různé materiály, ale stejné délkové hmotnosti pramene jsou vyvolány výrazně jiné odporové síly. S výjimkou česané bavlny však mají křivky podobný tvar. Porovnáme-li naměřené křivky s hodnotami měrné hustoty vláken udávanými v literatuře, zjistíme, že nelze najít přímou vazbu mezi měrnou hustotou (a tedy objemem) daného materiálu a velikostí odporové protahovací síly. Tvar křivky u pramene česaného je ovlivněn zejména výrazně vyšší mírou paralelizace a napřímení vláken oproti mykaným pramenům.

Vypočteme-li poměry z naměřených křivek, zjistíme, že pro různé materiály zpracované stejným mykacím strojem lze považovat poměr pro vyšší protahovací síly (cca od 5N výše, u nižších sil lze považovat trychtýřek za ne zcela zaplněný a tvar křivky ovlivní mnohé jiné faktory, jako je počet volných konců vláken, počáteční stlačení atd.) za konstantní. Poměry mezi materiály z různých mykacích strojů ale konstantní nejsou v žádném úseku sil. Z toho lze teoreticky předpokládat, že každý mykací stroj má pravděpodobně díky své konstrukci danou míru ojednocení a uspořádání vláken a tedy svou charakteristickou funkci délková hmotnost pramene - odporová protahovací síla, kterou lze pro daný materiál a průměr zhušťovače upravit vynásobením příslušným faktorem. Tato teorie byla potvrzena i při měřeních na třech různých typech mykacích strojů (UNIREA typ 40 s průtažným ústrojím VÚTS, UNIREA typ 40 s původním průtahem, Unicard 697) s materiály pramene bavlna, PES, polypropylen a viskosa. Byly měřeny i vzorky vyrobené na různých kusech mykacích strojů stejného typu a tvar křivky pro daný typ stroje zůstal shodný.

Základní nevýhoda relativně jednoduchého stanovení hmotnosti pramenů při měření na principu odporové síly, tedy nutnost kalibrace pro každý typ materiálu, se teorií o charakteristické převodní funkci mykacího stroje výrazně zjednoduší. Uvažujeme-li snímač na principu odporových sil v regulačním obvodu mykacího stroje, je nutné nejprve určit charakteristickou funkci délková hmotnost pramene – odporová protahovací síla. Při změně materiálu však stačí určit jeden bod převodní funkce a stanovit faktor násobící charakteristickou funkcí tak, aby procházela tímto bodem.

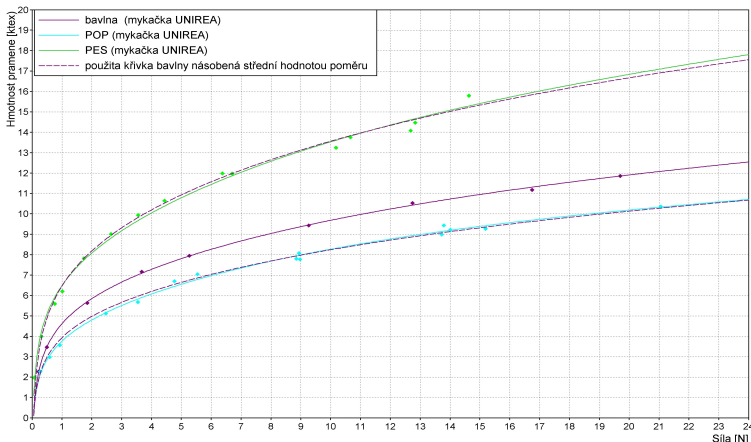
Na základě výše uvedených zjištění lze převodní funkci délková hmotnost pramene – odporová protahovací síla upravit do tvaru

$$\gamma = K_6 (K_1 + K_2 F + K_3 F^2 + K_4 F^3 + K_5 \log_{10}(F))$$

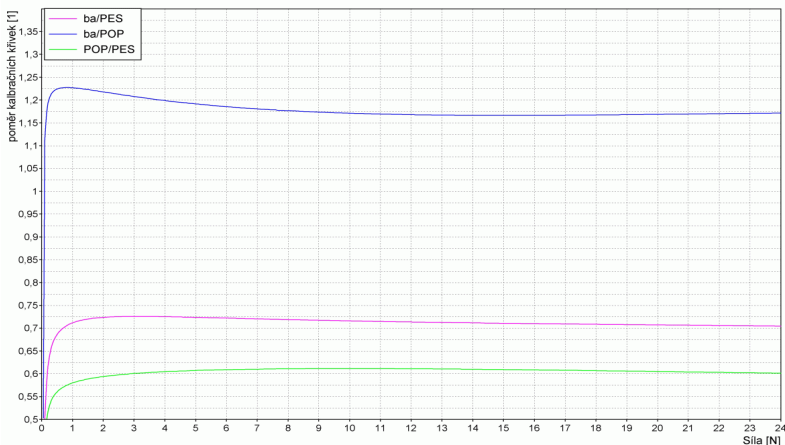
nebo

$$\gamma = C_6 (C_1 + C_2 F + C_3 F^{-1} + C_4 F^{-2} + C_5 \log_{10}(F))$$

kde K_1 až K_5 , C_1 až C_5 konstanty charakteristické funkce mykačích stroje
 K_6 , C_6 konstanta konkrétního materiálu pramene



Obr.8 Kalibrační křivky pro tři materiály pramene (bavlna, PES a polypropylen POP) zpracované na stejném mykačím stroji. Použitý snímač a zhušťovač byly stejné. Čárkovaně jsou naznačeny křivky vzniklé násobením křivky pro bavlnu konstantou určenou z poměru původních aproximačních funkcí.



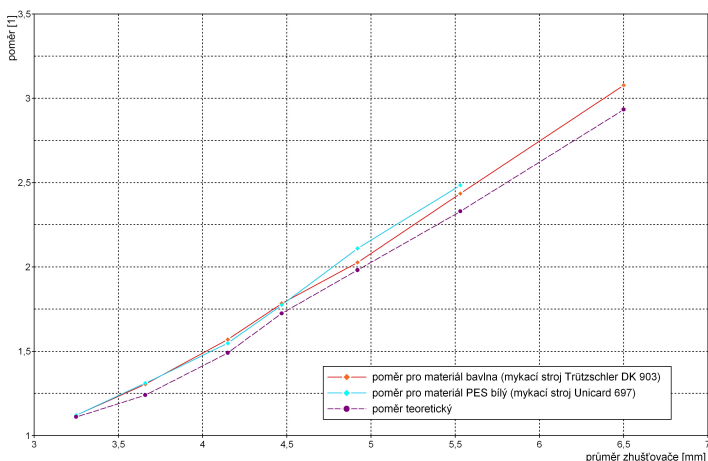
Obr.9 Průběhy vzájemných poměrů aproximačních funkcí pro tři materiály pramene podle obr. 8. Střední hodnota úseků odpovídajících odporové síle 5 až 10N byla použita pro přepočet funkcí z výchozí křivky pro bavlnu.

3.2.3 Vliv rozměrů zhušťovače

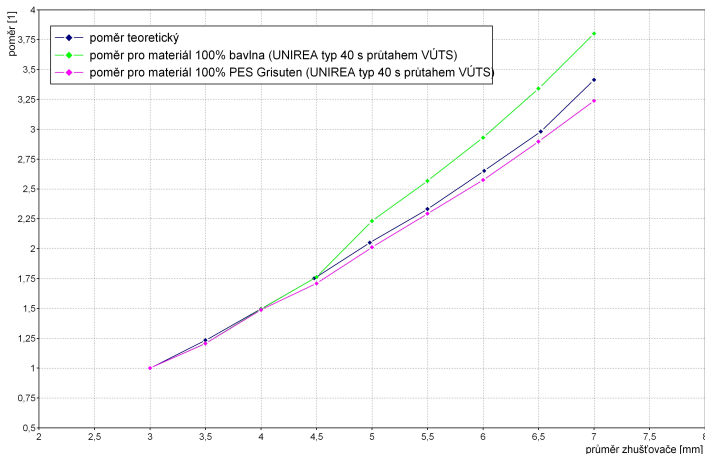
To, že geometrie zhušťovače je zásadním faktorem ovlivňujícím tvar kalibrační křivky je zřejmé. Uvažujeme-li základní trychtýřový tvar zhušťovače, jsou volitelnými parametry úhel kuželové části a průměr a délka části válcové.

Změna průměru válcového otvoru s sebou nenese jen jinou míru stlačení protahovaného pramene, ale také změnu styčné třecí plochy zhušťovač-pramen. Uvažujeme-li zachování stejných podmínek měření, tj. stejný typ protahovaného pramene (materiál, technologie, vlhkost atd.), stejnou geometrii a materiál zhušťovače a stejnou délku jeho válcové části, lze zredukovat faktory ovlivňující tvar kalibrační křivky na dva základní – změnu objemu stlačeného pramene a změnu styčné třecí plochy. Změnu objemu stlačovaného pramene lze při zachování délky válcové části zhušťovače (uvažujeme-li dostatečnou délku válcové části tak, aby nedocházelo k průniku vstupní a výstupní deformační zóny, ale pramen byl mezi těmito zónami definovaně stlačen) zredukovat na změnu průřezu zhušťovače, jedná se tedy o kvadratickou závislost vzhledem k průměru válcového otvoru. Změnu třecí plochy lze za stejných podmínek popsanych výše zredukovat na změnu obvodu válcového otvoru, tedy jako lineární závislost vzhledem k průměru válcového otvoru. Míra vlivu těchto dvou faktorů by měla záviset zejména na typu protahovaného pramene, tj. na koeficientu tření jak celkovém při styku se stěnou zhušťovače, tak mezivlákněm, který spolu s technologií výroby ovlivňuje míru uspořádání vláken v pramenu a tedy i míru jeho stlačitelnosti.

Byly provedeny dvě série měření pro materiály 100% bavlna mykaná a 100% PES bílý mykaný. Ve druhé sérii se měření prováděla se sadou devíti zhušťovačů s průměry otvorů od 3 do 7 mm pocházejících z jedné výrobní série, čímž byl potlačen vliv materiálu zhušťovače a povrchové úpravy. Poměry naměřených kalibračních křivek byly porovnávány s poměry křivek teoretických a pro materiál PES byla prokázána dobrá shoda, u materiálu bavlna došlo v druhé sérii měření k zatím neobjasněnému odskoku od teoretických závislostí.



Obr.10 Poměry kalibračních křivek hmotnost pramene - odporová síla (materiály bavlna a PES bílý) pro různé průměry zhušťovače vztahované ke kalibrační křivce pro zhušťovač průměru 3mm a vynesené v závislosti na průměru zhušťovače.



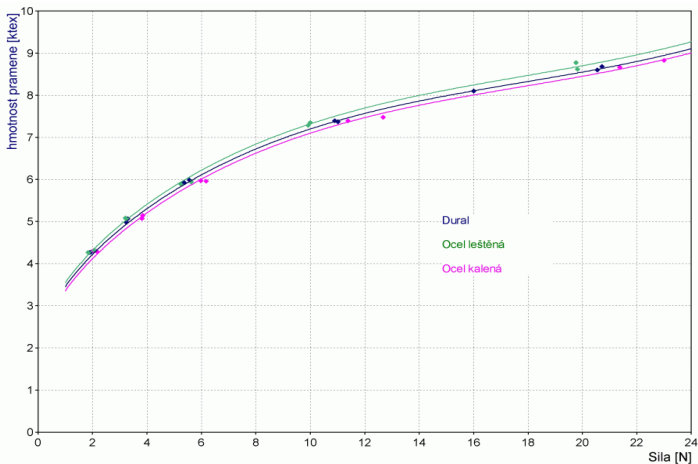
Obr.11 Poměry kalibračních křivek hmotnost pramene - odporová síla (materiál bavlna, PES Grisuten) pro různé průměry zhušťovače vztahžené ke kalibrační křivce pro zhušťovač průměru 3mm a vynesené v závislosti na průměru zhušťovače.

3.2.4 Vliv materiálu zhušťovače

Lze předpokládat, že při změně materiálu zhušťovače dojde ke změně třecího koeficientu mezi pramenem a zhušťovačem. Ten ovlivňuje hodnotu konstant a_1 , a_2 , b_1 a b_2 v teoretickém vztahu (3.3). S rostoucím koeficientem tření roste odporová síla vyvolaná protažením pramene o dané délkové hmotnosti. Lze však předpokládat, že pro používané materiály zhušťovačů (dural, ocel kalená) se shodnou výrobní drsností povrchu bude změna třecího koeficientu velmi malá.

Potřeba prověřit tento vliv vznikla při úvahách nad životností duralových zhušťovačů při dlouhodobém provozu na mykacím stroji a potencionální možností nahrazení za trvanlivější ocelový zhušťovač. Pro porovnání vlivu materiálu zhušťovače byly k dispozici tři různé vzorky zhušťovačů. Všechny tři zhušťovače měly stejnou geometrii a stejný průměr kalibrovaného otvoru (4.9 mm). Použité materiály byly leštěný dural, leštěná kalená ocel a kalená ocel bez leštění. Výsledky měření ukázaly, že v celém měřeném pásmu zhušťovače je tvar křivky prakticky identický jen s mírným posunem pro různé materiály. Z měření tedy lze vyvodit závěr, že jsou-li drsnosti povrchu zhušťovače srovnatelné, lze použít stejnou kalibrační křivku pro duralový i ocelový zhušťovač, pro případ požadované vysoké přesnosti měření lze údaj dokompenzovat vynásobením křivky příslušným faktorem.

U měřicího přístroje i v praxi u mykacího stroje je tento vliv eliminován, protože celá sada zhušťovačů je vyrobena stejnou technologií a ze stejného materiálu.



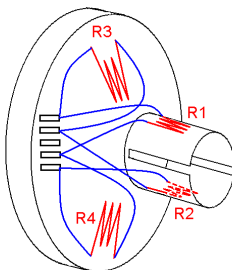
Obr.12 Porovnání křivek hmotnost pramene - odporová síla pro různé materiály zhušťovače

3.3 Porovnání s principem měření tlakové síly

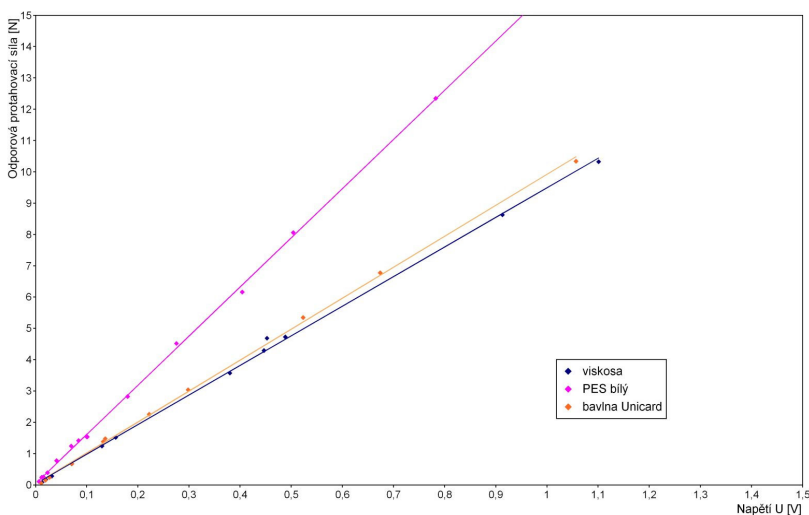
Pro potvrzení teorie vztahu mezi odporovou protahovací silou a tlakovou silou vznikající stlačením protahovaného pramene do kalibrovaného otvoru byl vyroben speciální zhušťovač s válcovou částí rozdělenou drážkou šíře 1,6 mm a délky 6,5 mm na dvě souměrné poloviny v ose průchodu pramene a osazenou tenzometrickým můstkem z foliových tenzometrů. Dva tenzometry jsou umístěny u kořene vetknutí volných měřicích částí v místě největší deformace a druhá dvojice je kompenzační. Geometrickými rozměry tento zhušťovač odpovídá standardním zhušťovačům používaným u snímače TRM VÚTS 5, pouze válcová část je o cca 2 mm prodloužena na délku 7 mm pro zvýšení citlivosti měření. Největší citlivost je dosahována na volných koncích vetknutých nosníků, jedná se vlastně o měření okamžitých hodnot délkové hmotnosti s částečnou filtrací danou délkou válcové části. Průměr kalibrovaného otvoru byl 4,5 mm. Poloviny měřicí válcové části nebyly zcela souměrné a jejich citlivost na konci se liší o cca 13 %.

Měřicí zhušťovač byl osazen do snímače TRM VÚTS 5 přístroje Papeon^{SliverTester} na místo klasického zhušťovače a výstupní signály obou snímačů byly zesilovány pomocí přesného můstkového zesilovače Hottinger a zaznamenávány synchronně pomocí měřicího analyzátoru Nicolet 2580P. Byla prováděna měření k určení kalibračních křivek odporová protahovací síla – délková hmotnost pramene a el. napětí vyvolané ohybovou deformací – délková hmotnost pramene pro tři různé materiály textilních pramenů (bavlna Unicard, PES bílý, viskosa). Z naměřených bodů byl vypočten poměr mezi el. napětím vyvolaným deformací děleného zhušťovače a odporovou protahovací silou pro každý ze tří měřených materiálů a tyto poměry vyneseny v závislosti na odporové protahovací síle. Mimo oblasti pod cca 0,2N, kde měření odporové protahovací síly již nelze považovat za regulérní, lze pro všechny materiály považovat poměr tlakové síly a odporové protahovací síly za konstantní. To potvrzuje výchozí teoretické předpoklady pro výpočet odporové protahovací síly ve zhušťovači, tj. že odporová protahovací síla je daná kromě geometrie zhušťovače, koeficientu tření a konstanty zahrnující vlastnosti pramene především tlakovou silou vyvolanou působením stačeného pramene na stěny zhušťovače.

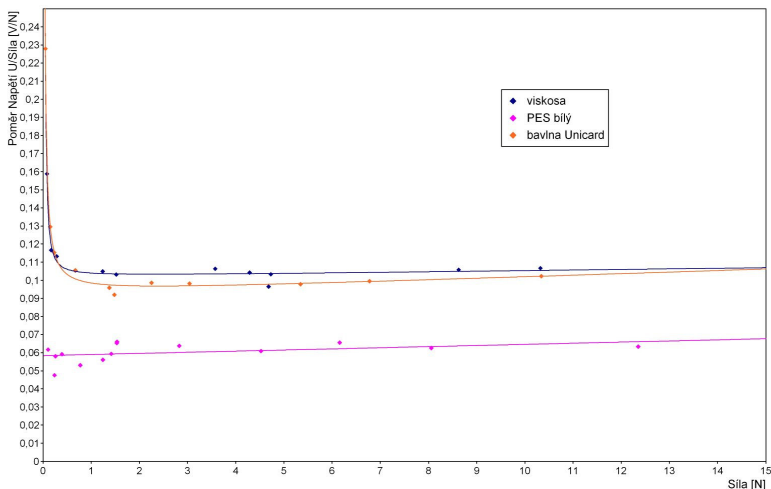
Jiné než laboratorní využití děleného měřicího zhušťovače není příliš reálné. Proti jeho použití hovoří zejména fakt, že pro změnu měřicího rozsahu by muselo docházet k výměně celého zhušťovače včetně tenzometrického můstku, což by bylo řešení velice nákladné a náchylné k poškození. Další nevýhodou je pak malá citlivost způsobená velkou ohybovou tuhostí měřicích částí s polokruhovým profilem, toto omezení by se ale dalo částečně kompenzovat volbou jiného průřezu nebo dělením na čtvrtkruhové segmenty. Po nakalibrování snímače by byl využitelný k určení zejména skutečného koeficientu tření pro různé materiály pramene porovnáním naměřeného signálu s hodnotou odporové protahovací síly.



Obr.13 Schematický náčrt umístění tenzometrů na měřicím zhušťovači. Tenzometry R1 a R2 měří ohyb polovin dělené válcové části. Tenzometry R3 a R4 slouží pro kompenzaci vlivu teploty.



Obr.14 Vynesená lineární závislost mezi deformací vyvolanou tlakovou silou (reprezentována hodnotou napětí U ve voltech) a odporovou protahovací silou. Pokud by byla známá převodní konstanta mezi deformací a tlakovou silou, určovaly by směrnice těchto přímek koeficient tření pro dané materiály pramenů.



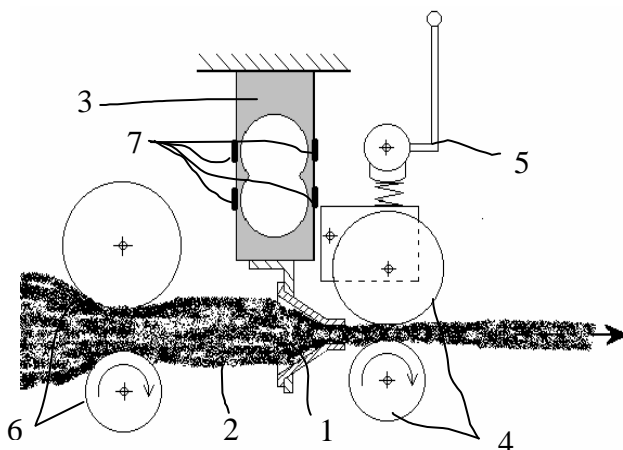
Obr.15 Vynesené poměry napětí vyvolaného deformací od tlakové síly a odporové protahovací síly v závislosti na odporové protahovací síle pro všechny tři měřené materiály pramene.

4. Měřicí zařízení pro hodnocení kvality pramenů PAPEON^{Sliver Tester}

Myšlenka vývoje měřicího zařízení pro operativní vyhodnocení kvality pramene byla ve VÚTS Liberec, a.s., řešena delší dobu. Vzniklo několik funkčních modelů. Zpočátku byla nevýhodou nízká citlivost a vlastní frekvence snímačů. Nevhodná mechanická konstrukce nepříznivě ovlivňovala kvalitu měření a další slabinou bylo vyhodnocení, kdy software zvládal jen zobrazení informativního hmotnostního diagramu bez jednotek a výpočet několika hodnot CV. V průběhu řešení úkolu „Vysoce výkonný mykací stroj“ [8] vznikla potřeba získat měřicí zařízení umožňující rychle a na místě dodat výsledky srovnatelné s měřicí aparaturou Uster Tester. Vývoj tohoto zařízení byl proto zahrnut do úkolů řešených v sekci C Výzkumného centra Textil I. Snahou bylo zkonstruovat měřicí zařízení, které by umožnilo provést měření přímo u stroje v krátké době (bez nutnosti přemísťování a klimatizování vzorku pramene) a tím umožnit rychlou kontrolu, případně servisní či regulační zásah pro zajištění kvality pramene. Nejoptimálnější řešením se jevílo použití stejného typu snímače TRM VÚTS 5, jaký byl použit na souběžně vyvíjeném mykacím stroji. Tím se snižují náklady na vývoj a výrobu nového snímače a také lze předpokládat vzájemné využití a sjednocení poznatků.

4.1 Základní princip

Základním principem činnosti měřicího zařízení PAPEON^{Sliver Tester} je měření odporové síly protažení tenzometrickým snímačem s definovanou rychlostí průtahu pramene. Schéma základního uspořádání je uvedeno na obr. 16.



Obr.16 Schematické vyobrazení mechanického uspořádání přístroje Papeon^{SliverTester}

Měřený pramen 1 je protahován ve směru šipky trychtýřovým zhušťovačem 2 s kalibrováním otvorem, který je uchycen do snímače síly 3 osazeného tenzometru v uspořádání do plného Wheatsonova můstku 7. Změna měřicího rozsahu se provádí volbou zhušťovače s jiným průměrem kalibrovaného otvoru. Průtah zajišťuje dvojice odtahovacích válců 4 svírajících pramen co nejbližší ústí zhušťovače definovaným přítlakem daným přítlačným ústrojím 5 s možností rozevření válců pro zavedení pramene. Pro případné odstranění parazitních odporových sil způsobených odvíjením pramene z konve apod. slouží dvojice předřazených podávacích válců 6 vytvářejících mírné předpětí pramene před zhušťovačem. Páry odtahovacích a podávacích válců jsou poháněny jedním motorem konstantní rychlostí, rozdíl rychlostí podávání a odtahu je dán pevným převodem. Ke spodnímu odtahovacímu válci 4 je uchycen inkrementální snímač, který slouží k měření skutečné protažené délky pramene.

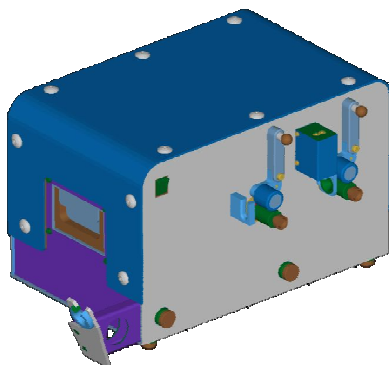
Naměřený signál ze snímače je zesílen přesným přístrojovým zesilovačem, v A/D převodníku převeden na číslicový signál a případně vyhlazen užitím klouzavých filtrů. Naměřená data jsou posílána do řídicího PC, kde jsou vypočteny výsledky a zobrazeny ve formě grafů (hmotnostní diagram, křivka délkových změn CV(L), spektra atd.), případně vytištěn protokol o zkoušce.

4.2 Realizace

Při návrhu koncepce vlastního měřicího přístroje PAPEON^{Sliver Tester} se vycházelo z několika základních požadavků. Prvním bylo použití snímače TRM VÚTS 5 pro unifikaci s mykacím strojem vyvíjeným ve VÚTS. Dále měl být přístroj přenosný s možností umístění na vhodný manipulační vozík spolu s řídicím počítačem. Hmotnostně se měl přístroj pohybovat v únosné míře, tj. řádově do 25kg, avšak s vysokou tuhostí rámu a dobrou stabilitou při položení na pevnou podložku (poloha těžiště, vhodné tlumící nožky atd.). Dále bylo požadováno snadné zavedení vzorku, nejlépe mezi otevřené odtahovací válečky, při vlastním měření pak kvalitní svěr pramene a možnost osazení polohovatelného ramene s okem umožňujícího plynulý odběr pramene z kruhových konví různých průměrů. Veškeré ovládání měření mělo být s výjimkou zavedení

pramene realizováno z řídicího počítače. Kvůli použití v prašném textilním prostředí byla navržena skříň splňující požadavky krytí IP54.

Na základě poznatků a připomínek ze zkoušek funkčních modelů přístrojů určených k měření délkové hmotnosti pramene byla navržena koncepce prototypu, a to jak po mechanické, tak po elektronické stránce. Na tento typ přístroje byla podána přihláška vynálezu PV2004 – 1131 pod názvem Způsob měření délkových nestejnomyšností pramenů textilních vláken a podobných délkových útvarů a zařízení k jeho provádění a evropská přihláška patentu EP 1659402. Autor práce je jedním z autorů návrhu patentu [10, 11]. Na realizaci se podílel zejména návrhem koncepce přístroje a řídicího software, řízením vývoje a prováděním vývojových a provozních zkoušek. V roce 2005 byla realizována stavba jednoho prototypu pro odladění ovládacího a vyhodnocovacího software a dále aby mohl být podroben dlouhodobým technologickým zkouškám. Na základě výsledků zkoušek bude druhý prototyp upraven do podoby určené pro výrobu.



Obr.17 Čelní pohled na kompletní přístroj vytvořený v software VARI Cad.

4.3 Měřicí a vyhodnocovací software

Měřicí a vyhodnocovací software byl vytvářen ve vývojovém prostředí Delphi 6 s využitím dalších přídatných komponent, zejména modulů pro paralelní komunikaci. Software přijímá naměřená data a zobrazuje průběh hmotnostní nestejnomyšnosti pramene již v průběhu měření. Spuštění i zastavení měření a odtahu pramene se děje z klávesnice řídicího počítače. Už během měření je zobrazován graf hmotnostních odchylek, ovšem se zredukovaným počtem bodů tak, aby bylo zobrazení plynulé. Po odměření požadovaného úseku pramene je zobrazen kompletní graf hmotnostní nestejnomyšnosti pramene, kde jsou odchylky zobrazovány v procentech vztažených ke střední hodnotě délkové hmotnosti měřeného úseku pramene, případně lze přepnout do zobrazení přímo v jednotkách hmotnosti ktex. Dále lze zobrazit grafy spektrogramů vlnových délek bodového a sloupcového a délkovou variační křivku CV(L) s tabulkou hodnot CV pro vybrané vlnové délky. Tyto grafy pak lze porovnávat s dříve uloženými vzorovými průběhy a také přímo z programu tisknout.

Software umožňuje širokou škálu nastavení parametrů měření. Volit lze zesílení vstupního přístrojového zesilovače, vzorkovací frekvenci (pro měření v délkách se signálem z inkrementálního snímače počet hran IRC, přes které bude signál vzorkován), počet bodů pro průměrování signálu klouzavým průměrem z důvodu potlačení šumu, počet bodů vynechaných na počátku měření pro odstranění zkreslení průběhu díky rozběhu přístroje, nejmenší a největší

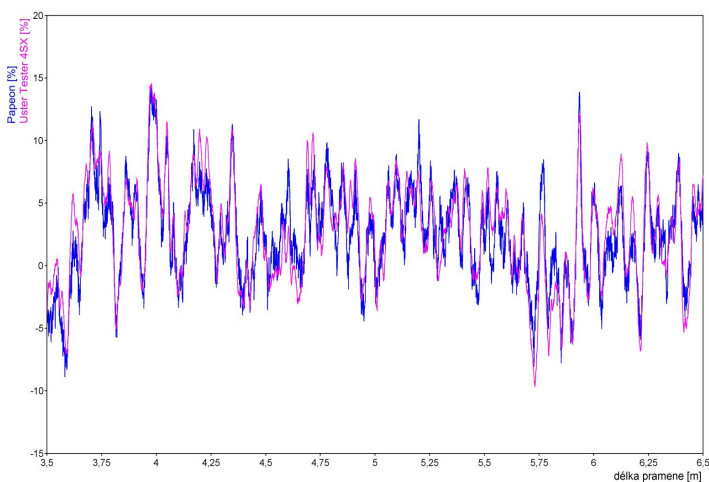
sledované vlnové délky, délku měřeného pramene a další. Předpokládá se, že ve verzi určené pro použití v průmyslu by měl být počet voleb omezen pro snazší nastavování a ovládání přístroje.

Pro měření hmotnostní nestejnoměrnosti v absolutních hodnotách délkové hmotnosti je přístroj potřeba kalibrovat odměřením odstupuňovaných pramenů známé délky a hmotnosti nebo řady známých délkových hmotností v ktex. Jednotlivé kalibrační funkce (pro různé materiály) lze ukládat v počítači i s podrobnějším popisem pro možnost provádění opakovaných měření.

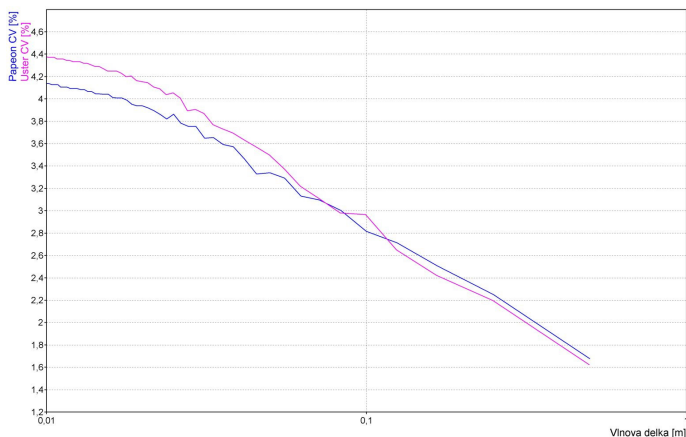
4.4 Provozní zkoušky

Po odladění funkce elektroniky a ovládací části softwaru byly prováděny provozní zkoušky, kdy byly mimo jiné výsledky z přístroje Papeon^{Sliver Tester} porovnávány s výsledky naměřenými pomocí měřicí aparatury Uster Tester 4SX na stejných vzorcích pramene. Pro porovnání s měřicí aparaturou Uster Tester byla navázána spolupráce s Katedrou textilních technologií, Fakulta textilní, TU Liberec.

Vzorky byly nejprve proměřeny aparaturou Uster Tester, protože ta díky kapacitnímu principu méně namáhá pramen na dodatečné protažení. Poté byly vzorky proměřeny přístrojem Papeon^{SliverTester}. Přístroj byl umístěn ve stejné laboratoři jako aparatura Uster Tester a byl tak eliminován vliv teploty a vlhkosti na pramen. Přístroj Papeon^{Sliver Tester} byl nakalibrován na typ pramene odpovídající proměřovaným vzorkům. Pro možnost porovnání s výsledky z aparatury Uster Tester byl průběh odchylek délkové hmotnosti přepočten na procentuální odchylky. Pomocí vyhodnocovacího software Flex Pro 6 byly záznamy odchylek délkové hmotnosti z obou přístrojů shodně orientovány a sřazovány podle významných extrémů. Průběhy z obou přístrojů vykazují velice dobrou shodu, lze tedy předpokládat že přístroj Papeon^{Sliver Tester} se snímačem na principu odporové protahovací síly může poskytovat srovnatelné výsledky s aparaturou Uster Tester založenou na principu kapacitním. U porovnání CV křivek se objevují rozdíly v řádu desetin procent, to může být způsobeno tím, že aparatura Uster Tester určuje střední hodnotu pro měřený vzorek z úseku předcházejícího a může tak docházet k chybě.



Obr.18 Porovnání záznamů procentuálních odchylek délkové hmotnosti měřených aparaturou Uster Tester 4SX a přístrojem Papeon^{Sliver Tester}. Pro přehlednost je zobrazena jen část záznamu.



Obr.19 Porovnání křivek délkových změn změřených aparaturou Uster Tester 4SX a vypočtených z dat měřených přístrojem Papeon^{SilverTester}.

5. Měření a hodnocení hmotnostní nestejnosti pramene na výstupu mykacího stroje

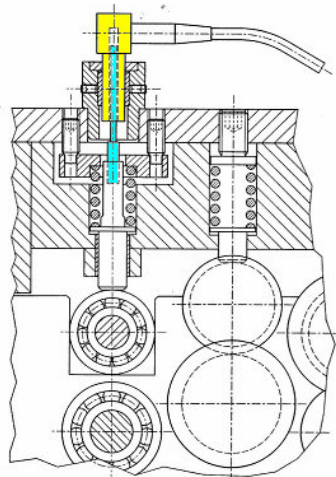
Pro optimalizaci výrobního řetězce při výrobě přízi se jeví jako zásadní krok získat co nejkvalitnější pramen již na výstupu mykacího stroje. Při dostatečné kvalitě pramene tak může odpadnout například družení a posuk, tedy celá jedna výrobní pasáž, a výroba příze se tak časově zkrátí i zlevní. Neoptimálnější metodou zvýšení kvality pramene na výstupu mykacího stroje je použití řízeného průtažného ústrojí s regulovaným průtahem. Do roku 2004 probíhal ve VÚTS Liberec, a.s. státní úkol FD-K/129 "Vysoce výkonný mykací stroj" [8], jehož cílem bylo vyvinout vysokorychlostní mykací stroj splňující vysoké nároky na kvalitu produkovaného pramene. V současnosti probíhá v rámci Výzkumného centra Textil II vývoj autonomního průtažového ústrojí s regulací. Pracovníci odboru měření včetně autora práce se podíleli na úkolu návrhem a výrobou snímačů pro měření délkové hmotnosti pramene a také jejich aplikací v regulačních obvodech. Vzhledem k tomu, že u mykacího stroje byl použit také snímač TRM VÚTS 5 a některá z měření kalibračních křivek na stroji byla použita v této práci, je toto téma zařazeno jako jedna z kapitol, protože s jejím obsahem i výsledky velmi úzce souvisí.

5.1 Konstrukční provedení

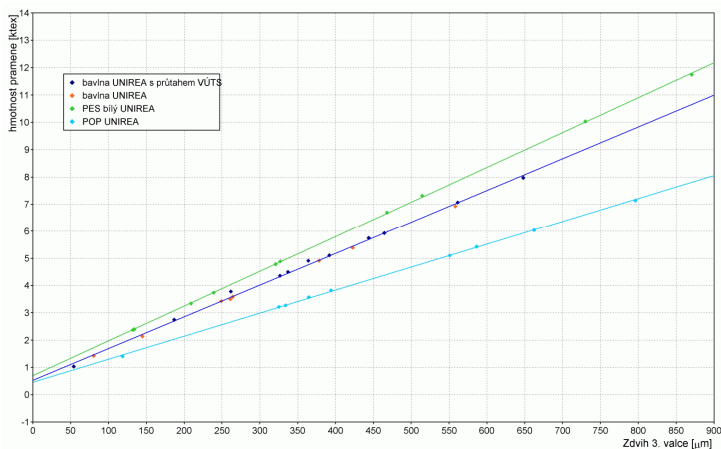
Základními požadavky na nový stroj byly zvýšení rychlosti produkce pramene až na 400 m/min a zvýšení jeho kvality na úroveň umožňující přímé vypřádání bez nutnosti posukování. Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících kvalitu produkovaného pramene je průtažné ústrojí s kvalitní regulací. Pro možnost kvalitního a rychlého řízení je nutné dobře měřit délkovou hmotnost pramene vstupujícího do průtažného ústrojí. V rámci tohoto úkolu byl proto vyvinut snímač TRM VÚTS 5 popsany výše, protože předchozí generace snímačů dosahovala vlastní

frekvence cca do 500Hz, což bylo pro kvalitní řízení v nejvyšších produkčních rychlostech nedostatečné. Snímač je instalován přímo na rámu průtažného ústrojí tak, aby se ústí zhušťovače co nejvíce přiblížilo prvním páru protahovacích válečků.

V průběhu vývoje mykacího stroje se ukázalo, že pro dodržení požadované střední hmotnosti produkovaného pramene je nutné zařadit snímač i na výstup průtažného ústrojí. Regulační smyčky průtahu se snímačem pouze na vstupu zvládaly vyrovnávat nerovnoměrnosti pramene i na velmi krátkých délkách, nebylo však s dostatečnou přesností možné dosahovat požadovanou střední hmotnost pramene na výstupu zejména díky tomu, že skutečné protažení pramene v průtažném ústrojí neodpovídá zcela strojnímu průtahu (poměru otáček jednotlivých párů protahovacích válečků). Skutečné protažení pramene je oproti strojnímu průtahu nižší, zpravidla v řádu jednotek procent, což je způsobeno zejména pružností pramene, tedy složkou elastické deformace, jejíž podíl na celkové deformaci pramene je pro různé materiály produkovaného pramene různý. Požadavek na řešení zněl na snímač, který neovlivní zásadně zavádění pramene a bude vyžadovat co nejméně konstrukčních úprav průtažného ústrojí. U výstupního snímače nejsou kladeny vysoké nároky na dynamiku, tj. pro sledování střední délkové hmotnosti pramene postačují řádově nižší vzorkovací frekvence (a tedy i vlastní frekvence snímače) oproti snímači na vstupu průtažného ústrojí. Jako možné řešení se tedy jevilo sledování změny průřezu šterbiny mezi válečky třetího protahovacího páru. Průřez šterbiny by měl být závislý na objemu procházejícího pramene a tedy i na jeho délkové hmotnosti. Vzhledem k tomu, že šířka drážky je pevně daná osazením ve spodním válečku, je změna průřezu definovaná změnou výšky drážky a tedy polohy horního pohyblivého válečku. Nejsprávnějším řešením by bylo měřit polohu horního válečku přímo na povrchu protahovací rolny, to je však konstrukčně velice nevýhodné řešení. Byla proto realizována metoda měření zdvihu ložiska uložení hřídele rolny bližšího k protahovacím rolnám pomocí indukčního snímače zdvihu. Pro vyloučení vlivu vlastní frekvence snímače (zejména pružinového mechanismu jádra) byl zvolen typ snímače s volným jádrem, kdy jádro je pevně spojeno s kolíkem zajišťujícím přes tuhou pružinu přítlak horního válečku a tělo snímače s cívkami je pevně osazeno do víka průtažného ústrojí. Vlastní frekvence snímače je tak daná jen vlastními kmity horního protahovacího válečku. Pro dobrou funkci snímače bylo nutné zvolit ložiska s minimální radiální vůlí vnějšího kroužku vůči vnitřnímu a zajistit přesné vedení svislého pohybu ložiska bez vůle v horizontálním směru. Systém byl realizován a ve zkouškách ověřen jako zcela funkční. Měření kalibrační křivky zdvih válečku – délková hmotnost pramene ukázala zcela lineární závislost těchto dvou veličin. Jedinou podstatnější nevýhodou tohoto systému je, že při změně přítlaku (změna tuhosti přítlačných pružin horního válečku jejich stlačením nebo odlehčením) či při výměně horního válečku (jiný průměr a tuhost gumového válečku zajišťujícího třením přenos pohonu ze spodního válečku na horní) se podstatně mění směrnice kalibrační přímk. Lineární závislost však umožňuje provést rychlou kalibraci pomocí dvou bodů, kdy změnou nastavení požadované výstupní hmotnosti pramene lze získat dva vzorky pramene s dostatečně rozdílnou délkovou hmotností a jejich vážením určit jejich skutečnou hmotnost. Přiřazením naměřeného signálu zdvihu k hmotnostem vzorků zjištěných vážením jsou dány potřebné dva body pro určení kalibrační přímk.



Obr.20 Nákres zástavby snímače zdvihu k třetímu páru válečků průtažného ústrojí. Modře je vyznačeno volné jádro uchycené do posuvného kolíku tvořícího spolu s pružinou přítlak na horní váleček, žlutě je vyznačen snímač uchycený do pevného víka průtažného ústrojí.



Obr.21 Kalibrační přímky proložené naměřenými body pro snímač zdvihu třetího válečku průtažného ústrojí. Měření bylo provedeno pro čtyři různé vzorky materiálů. Je patrné, že přímka pro bavlnu je shodná pro oba vzorky zpracované na různých mykacích strojích.

5.2 Kalibrace snímačů

Při provozu mykacího stroje dochází velmi často ke změně zpracovávaného materiálu, případně ke změně požadované výstupní jemnosti. Pro kvalitní regulaci výstupního pramene je

nutné znát pro daný materiál pramene a zhušťovač odpovídající převodní funkci délková hmotnost pramene – odporová protahovací síla pro snímač TRM VÚTS 5 na vstupu průtažného ústrojí. Proměření celé převodní křivky je proces pro praxi poněkud složitý a zdlouhavý, v případě samostatného průtažného ústrojí určeného pro zkvalitňování výstupního pramene starších mykacích strojů téměř nerealizovatelný, protože starší mykací stroje bez možnosti softwarové regulace délkové hmotnosti výstupního pramene (lze měnit pouze mechanicky změnou dodávaného množství rouna) neumožňuje získání vzorků pramene v dostatečném rozsahu. Díky poznatkům popsáním v práci se zavedením charakteristické funkce mykacího stroje tento proces výrazně zjednoduší, kdy s využitím tvaru převodní funkce

$$\gamma = K_6 \cdot K_7 (K_1 + K_2 F + K_3 F^2 + K_4 F^3 + K_5 \log_{10}(F)) \quad (5.1)$$

kde K_1 až K_5 konstanty charakteristické funkce mykacího stroje
 K_6 konstanta konkrétního materiálu pramene
 K_7 konstanta konkrétního zhušťovače (dána geom. rozměry)

Ize určit konstanty K_1 až K_5 pro daný stroj například pomocí přístroje Papeon^{Sliver Tester} a veškeré korekce na jiný materiál pramene či jiný zhušťovač provádět pouze změnou parametrů K_6 a K_7 , případně jedinou konstantou tvořenou součinem těchto dvou parametrů. Pro jejich určení stačí jeden bod odpovídající nastavení mykacího stroje, kdy k odebranému vzorku s určenou střední hodnotou odporové protahovací síly je vážením přiřazena délková hmotnost a příslušný parametr korigován tak, aby převodní funkce tímto bodem procházela.

Závěr

V současnosti je v regulačních obvodech strojů měření odchylek délkové hmotnosti pramenů na principu odporové protahovací síly nejpoužívanějším principem. Vzniká celá řada patentů řešících optimalizaci mechanické konstrukce, spojení vyhodnocovací elektroniky a snímače v jeden celek atd., ale vlastní popis vazby mezi odporovou protahovací silou a délkovou hmotností pramene a řešení vlivů tuto vazbu ovlivňujících je opomíjeno. Bez kvalitnějšího poznání těchto vazeb je využitelnost snímačů na principu odporové protahovací síly omezena a tím klesá i kvalita regulace pramenů a možnosti hodnocení jejich kvality.

Úvodní rešeršní část práce je věnována zejména výčtu používaných metod pro měření délkové hmotnosti pramenů s uvedením jejich výhod a nevýhod. Vlastní práce je zaměřena na měření délkové hmotnosti pramenů snímači na principu odporové protahovací síly. Hlavní pozornost je věnována především popisu vztahů mezi odporovou protahovací silou a délkovou hmotností pramene, a to jak teoretických, tak zpřesněných pomocí řady experimentálních měření. Snahou bylo nalézt optimální aproximační funkci pro popis této závislosti. Zkoumány byly také různé vlivy působící na tuto vazbu se snahou určit míru jejich významnosti, možnosti kompenzace, případně jejich praktické využití. Velkým přínosem se ukázalo být objevení charakteristické převodní funkce mykacího stroje, která na rozdíl od teoretických vztahů umožňuje snadnou úpravu převodní křivky pro jiný druh pramene nebo průměr zhušťovače. Na základě těchto poznání byl navržen optimální způsob využití snímače délkové hmotnosti v regulačním obvodu průtažného ústrojí mykacího stroje nové generace s možnostmi snadného přizpůsobení pro zpracování různých textilních materiálů i jemností produkovaného pramene. Poznatky získané v této části práce umožnily výrazně zkvalitnit regulaci a v kombinaci s mechanickým čidlem na výstupu průtažného ústrojí produkovat pramen žádané jemnosti bez nutnosti kontroly vážením a dodatečné korekce.

Druhou významnou částí práce byla konstrukce přenosného měřicího zařízení pro hodnocení kvality pramenů založeného na použití snímače na principu odporové protahovací síly. Snahou bylo zkonstruovat zařízení umožňující provádět hodnocení kvality pramenů přímo u stroje s rychlým získáním výsledků, s nízkou cenou a s výstupy odpovídajícími textilní praxi. Software přístroje je pojat jako otevřená struktura s možností doplnění dalších modernějších vyhodnocovacích metod. Na koncepci přístroje byl podán patentový návrh NP 54/2004 a na jeho základě přihláška vynálezu PV2004–1131 pod názvem Způsob měření délkových nestejnomyšností pramenů textilních vláken a podobných délkových útvarů a zařízení k jeho provádění a evropská přihláška patentu EP1659402 pod názvem Method of measuring length irregularities of textile fiber strands and the like length formations as well as apparatus making the same. Autor práce je jedním z autorů návrhu patentu [10, 11].

Seznam literatury

- [1] Chavkin V.P., Iljin E.R., Molčatov A.S.: Avtomatičeskij kontrol i regulirovanije razvesa tekstilnych materialov, Moskva, 1975
- [2] Mihira K., Takeda H. : Measuring and Correcting Sliver Irregularity by Frictor-Using Equipment, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol.6 1960
- [3] Ursíny P. : TEORIE PŘEDENÍ I., II., TU Liberec 2001
- [4] firemní literatura a patenty Zellweger A.G., Uster
- [5] Randall R.B.: Frequency Analysis, Brüel&Kjaer 1987
- [6] Pondělková P.: Deformační závislosti při stlačování vláknenných materiálů, diplomová práce FT TUL 2003
- [7] Pospíšil, Z. a kol.: Příručka textilního odborníka I a II, SNTL, Praha 1981
- [8] Státní úkol FD-K/129 "Vysoce výkonný mykací stroj" – závěrečná zpráva, VÚTS Liberec, 2004
- [9] Klouček P., Šidlof P., Hudousek O. : Zařízení pro měření a analýzu tahových sil nití a osnov Wawet. Sborník technických zpráv Výzkumného centra Textil, Sekce C skupina „Mechatronické systémy“. TU Liberec 2002 (ISRN TUL-VCT/C-MŘTP/TZ -02/003/CZ).
- [10] Klouček P., Šidlof P., Hudousek O., Škop P., Šidlof P., Čejka V. : Způsob měření délkových nestejnóměrností pramenů textilních vláken a podobných délkových útvarů a zařízení k jeho provádění, PV 2004-1131
- [11] Klouček P., Šidlof P., Hudousek O., Škop P., Šidlof P., Čejka V. : Method of measuring length irregularities of textile fiber strands and the like length formations as well as apparatus for making the same, EP 1659402, 2006

Přehled publikovaných prací

Klouček P., Šidlof P., Hudousek O.: Zařízení pro měření a analýzu kvalitativních vlastností přádelnických pramenů Papeon^{Sliver Tester}. In: Sborník technických zpráv Výzkumného centra Textil, Sekce C skupina „Mechatronické systémy“. Liberec 2001. Technická univerzita v Liberci (ISRN TUL-VC3-TZ/MS -01/003/CZ).

Klouček P., Šidlof P., Hudousek O.: Zařízení pro měření a analýzu tahových sil nití a osnov Wawet. In: Sborník technických zpráv Výzkumného centra Textil, Sekce C skupina „Mechatronické systémy“. Liberec 2002. Technická univerzita v Liberci (ISRN TUL-VCT/C-MŘTP/TZ -02/003/CZ).

Klouček P., Škop P.: Použití měřicího zařízení WAVEON k optimálnímu seřízení textilních, zejména tkacích strojů. In: Quo Vadis Textrinum 2004, Štrbské Pleso, SR (ISBN 80-85655-23-3)

Klouček P., Čejka V.: Snímače hmotnosti textilního materiálu. In: Závěrečná zpráva o řešení projektu "Vysoce výkonný mykací stroj" (Ev.č.projektu FD-K/129), VÚTS Liberec, 2004

Klouček P., Bušek M.: Kontinuální monitorování tahových sil horní šicí nitě blokováním chodu šicího stroje při nedodržení zadaných podmínek. In: Zpráva VC Textil II., TU Liberec 2005, ISRN TUL -VCT2/C-TSM/T2 05/004/cz

Šidlof P., Škop P., Klouček P., Čejka V., Bušek M.: Způsob měření tažnosti přízí a podobných délkových útvarů a zařízení k provádění způsobu, PV 2004-1058

Bušek M., Klouček P., Škop P., Čejka V., Šidlof P.: Způsob měření tvrdosti a/nebo hustoty přízových návinů a zařízení k jeho provádění, PV 2004-1081

Klouček P., Šidlof P., Hudousek O., Škop P., Šidlof P.: Způsob měření délkových nestejnóměrností pramenů textilních vláken a podobných délkových útvarů a zařízení k jeho provádění, PV 2004-1131

Annotation

Measurement and evaluation of mass irregularity for linear textile units

Pavel Kloucek M.Sc.

Monitoring of quality during production is still more and more important for a yarn, that is why there is still rising necessity of monitoring of quality for its intermediate products, mainly slivers and rovings. Basic quality factor for slivers and rovings is linear mass. There is exertion to minimize linear mass irregularity. Today are mainly Uster Tester measuring devices, based on capacitive principle, used for measurement of sliver's linear mass. But these measuring devices are intended only for laboratory measurements of slivers with necessity of sliver's humidity fixation by storing it in air-conditioned room for many hours. This measuring device can't measure the real values of sliver's linear mass, but only percentage deviations from mean linear mass.

This thesis deals with the measurement of sliver mass by using sensors with resistance force principle. Effects act on resistance force value are also observed and evaluated and some methods of compensation are designed. These results were used for development of portable measuring device intended for fast service measurements of sliver mass in workplace near card or comb machine. In the theses are also solved evaluation methods and device's calibration enabling measurement of sliver's linear mass in real values despite of strongly non-linear relation between linear mass and resistance force.

Measurement of sliver's linear mass by resistance principle was also realized on draw-frame of newly designed card machine. Measured values of linear mass were used as input signal for controlled draw-frame regulation circuit.

Keywords: linear mass, irregularity, textile slivers, measurement