



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Měření a vyhodnocení hmotnostní nestejnoměrnosti lineárních textilních útvarů

Disertační práce

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146088149

2006

Pavel Klouček

Měření a vyhodnocení hmotnostní nestejnoměrnosti 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
Hájkova 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

Anotace

Měření a vyhodnocení hmotnostní nestejnoměrnosti lineárních textilních útvarů

Ing. Pavel Klouček

Při výrobě příze je stále více kladen důraz na její kvalitu a proto roste i nutnost sledování kvality meziproduktů pro její výrobu, zejména pramenů a přástů. Základním faktorem určujícím kvalitu pramenů a přástů je jejich délková hmotnost. Snahou je nestejnoměrnost délkové hmotnosti minimalizovat. Pro měření délkové hmotnosti pramenů se dnes téměř výhradně používají měřicí aparatury Uster Tester založené na kapacitním principu. Ty jsou však určeny spíše pro laboratorní měření vzorků s nutností ustalovat jejich vlhkost na konstantní hodnotu mnohahodinovým uskladněním v klimatizovaných prostorech. Tato aparatura také neumožňuje měřit skutečné hodnoty délkové hmotnosti pramenů, pouze procentuální odchylky od střední hodnoty hmotnosti.

Práce se zabývá měřením délkové hmotnosti pramenů snímači na principu odporové protahovací síly, zkoumáním vlivů působících na velikost odporové protahovací síly, mírou jejich významnosti a případnými způsoby kompenzace. Tyto poznatky byly využity při vývoji přenosného měřicího zařízení pro měření délkové hmotnosti pramenů na principu měření odporové protahovací síly, které je určeno na rychlá servisní měření přímo u stroje. Řešeny jsou i metody vyhodnocování a kalibrace přístroje, umožňující měřit skutečné hodnoty délkové hmotnosti pramenů i přes silně nelineární závislost mezi délkovou hmotností a odporovou protahovací silou.

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.

Klíčová slova: délková hmotnost, nerovnoměrnost, textilní prameny, měření

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

Prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury.

V Liberci 30.11.2006

Ing. Pavel Klouček



Poděkování

Je mi milou povinností poděkovat Doc.Ing. Miroslavu Svobodovi za odborné vedení mého doktorského studia. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Škopovi, CSc., vedoucímu odboru měření VÚTS Liberec, a.s. a Ing. Pavlu Šidlofovi CSc. za podporu a odborné konzultace problémů, které vznikly při řešení práce.

Poděkování patří i mé rodině, zejména manželce za pomoc a morální podporu během studia.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	9
1. Úvod	10
1.1 Současný stav problematiky	10
1.2 Cíle práce	11
2. Délková hmotnost lineárních textilních útvarů, základní metody měření a hodnocení její nestejnoměrnosti	12
2.1 Délková hmotnost lineárních textilních útvarů	12
2.2 Měření hmotnostní nestejnoměrnosti pramenů	13
2.2.1 Principy měření hmotnostní nestejnoměrnosti textilních materiálů, zejména pramenů	13
2.2.1a Mechanický deformační princip	13
2.2.1b Pneumatický princip	15
2.2.1c Optický princip	16
2.2.1d Kapacitní princip	17
2.2.1e Měření odporových protahovacích sil	18
2.2.1f Měření tlakových sil	19
2.3 Hodnocení hmotnostní nestejnoměrnosti pramenů	19
2.3.1 Hmotnostní diagram	20
2.3.2 Délková variační křivka CV(L)	21
2.3.3 Sloupcový spektrogram	22
3. Princip měření délkové hmotnosti pramenů pomocí odporové protahovací síly	23
3.1 Teoretické vztahy pro statickou odporovou sílu ve zhušťovači	23
3.1.1 Válcový zhušťovač	23
3.1.2 Kuželový zhušťovač	24
3.1.3 Trychtýřový zhušťovač	26
3.2 Snímače délkové hmotnosti pramene na principu měření odporové protahovací síly	27
3.3 Převodní funkce odporová protahovací síla - délková hmotnost pramene	29
3.3.1 Určení optimální převodní funkce	31
3.3.2 Porovnání teoretické a naměřené převodní funkce	32
3.4 Vlivy působící na tvar převodní funkce odporová protahovací síla – délková hmotnost pramene	39
3.4.1 Vliv rychlosti průchodu pramene zhušťovačem	39
3.4.2 Vliv materiálu pramene a technologie jeho zpracování	42
3.4.3 Vliv rozměrů zhušťovače	46
3.4.4 Vliv materiálu zhušťovače	51
3.4.5 Vliv vlhkosti pramene	52
3.5 Porovnání s principem měření tlakové síly	52
4. Měřicí zařízení pro hodnocení kvality pramenů PAPEON ^{SliverTester}	57
4.1 Základní princip	57
4.2 Realizace	58
4.2.1 Základní požadavky na přístroj	58
4.2.2 Mechanická konstrukce	59
4.2.3 Elektronický modul	63

4.2.4 Měřicí a vyhodnocovací software	64
4.2.5 Aproximace kalibrační funkce	65
4.3 Provozní zkoušky	69
5. Měření a hodnocení hmotnostní nestejnoměrnosti pramene na výstupu mykacího stroje	72
5.1 Konstrukční provedení	72
5.2 Kalibrace snímačů	75
6. Závěr	76
Seznam literatury	77
Přehled publikovaných prací	78
Příloha P1 Seznam použitých textilních materiálů a jejich vlastností	79

Seznam použitých symbolů a zkratek

C_1 až C_7	koefficienty optimální převodní funkce	[-]
CV	variační koefficient	[-]
D_0	výstupní průměr kuželového zhušťovače	[mm]
D_1	vstupní průměr kuželového zhušťovače	[mm]
F_p	normálové stlačení	[N]
F_T	třecí síla	[N]
K_1 až K_7	koefficienty optimální převodní funkce	[-]
P	normálový tlak na jednotku plochy zhušťovače	[Pa]
T	perioda vzorkování	[s]
α	materiálová konstanta	[-]
γ	délková hmotnost lineárního textilního útvaru	[tex]
$\bar{\gamma}$	střední délková hmotnost	[tex]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ	objemová hustota vláken	[g/m ³]
$\sigma(L)$	střední kvadratická odchylka	[-]
μ	koefficient statického tření	[-]
Θ	vstupní úhel kuželového zhušťovače	[°]
ϵ_0	permitivita vakua	[F/m]
ϵ_r	relativní permitivita	[-]
ω	relativní hustota (zhuštění) pramene	[-]
ω_0	počáteční zhuštění pramene	[-]

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 nesplňující kvalitativní požadavky je spojena s finanční ztrátou. Snahou je také zapojit nové metody analýzy pro snazší detekci problémových sekcí stroje či výrobního procesu. 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 možnostmi 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 produkováné 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. Pokus o jejich souhrn doplněný stručným popisem činnosti a uvedením předností a nedostatků je uveden v kapitole 2.2 této práce. 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 (Trützschler) a tenzometrické snímače (Gunter&Cook, Uster FP apod.). 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 [2], 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 nestejnoměrnosti

2.1 Délková hmotnost lineárních textilních útvarů

Lineárním textilním útvarem je myšlen takový útvar o rozměrech $L \times B \times H$, jehož jeden rozměr L lze uvažovat jako nekonečný (platí $B, H \ll L$). Uvažujeme-li, že tento rozměr má orientaci shodnou s osou x , pak vybereme úsek délky l , v jehož středu leží bod X , a vedeme dvě rovnoběžné roviny kolmé na osu x a procházející koncovými body úseku l . Je-li Δm hmotnost části útvaru nalézající se mezi těmito dvěma rovinami, pak lze veličinu

$$\gamma_l(x) = \frac{\Delta m}{l} \quad (2.1)$$

nazvat střední délkovou hmotností materiálu v bodě X .

Délková hmotnost materiálu v bodě X je definována vztahem

$$\gamma(x) = \lim_{l \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{l} \quad (2.2)$$

a její jednotka [tex] je definována jako

$$[tex] = \frac{[mg]}{[m]} = \frac{[g]}{[km]}, [ktex] = \frac{[g]}{[m]}. \quad (2.3)$$

Hlavními parametry ovlivňujícími délkovou hmotnost materiálu jsou hmotnost jednotlivých vláken a jejich počet v průřezu kolmém k ose x . Kolísáním počtu vláken v průřezu vzniká délková hmotnostní nestejnoměrnost. Jedná se vlastně o kolísání délkové hmotnosti lineárního útvaru na krátkých úsecích. Vlivy způsobující délkovou hmotnostní nestejnoměrnost lze rozdělit na náhodné (např. občasné utržení se chuchvalce vláken hromadících se na některém výstupku stroje a jeho začlenění do pramene, nerozvolněné shluky vláken) a periodické. Periodická nestejnoměrnost bývá zpravidla způsobena mechanickými vadami rotačních částí strojů působících v technologickém řetězci.

Vysoká hmotnostní nestejnoměrnost pramene ovlivňuje nepříznivě výsledný produkt, tj. přízi, a to jak z hlediska mechanických vlastností (zejména pevnost), tak vzhledu (kolísání průměru příze 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.

Složitost struktury lineárních textilních útvarů vede k tomu, že je nelze vyrobit dokonale stejnoměrné. Za limitní případ statisticky stejnoměrného útvaru se považuje svazek vláken, která jsou v útvaru rozložena podle náhodného Poissonova rozdělení:

$$P(n) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^n}{n!}, \quad (2.4)$$

kde $P(n)$	[-]	pravděpodobnost výskytu vláken v průřezu lineárního textilního útvaru
n	[-]	střední hodnota počtu vláken v průřezu
e	[-]	základ přirozeného logaritmu
λ	[-]	parametr Poissonova rozdělení

2.2 Měření hmotnostní nestejnoměrnosti pramenů

Měření hmotnostní nestejnoměrnosti pramenů je poměrně komplikovaný problém. Při měření délkové hmotnosti pramene se projeví v závislosti na použitém principu kromě počtu a hmotnosti vláken v průřezu ještě další vlastnosti materiálu, jako jsou míra paralelizace a napřímenosti vláken, počet háčků, chlupatost, velikost mezivláknenného tření, ale i vlhkost pramene, teplota apod. Uvedené faktory mají různou míru vlivu pro jednotlivé principy měření délkové hmotnosti a výběr měřicí metody pak závisí na potřebách a možnostech eliminace nebo redukce vlivu těchto faktorů. Ve většině praktických realizací se přistupuje k měření poměrné nebo procentuální odchylky délkové hmotnosti od střední hodnoty, čímž se eliminuje pravděpodobně největší procento parazitních vlivů, schází ale údaj o skutečné hodnotě délkové hmotnosti vyrobeného produktu. Správná délková hmotnost meziproduktů je pro výrobu kvalitní příze zásadní, protože jen tak lze dodržet technologickými postupy předepsané hodnoty průtahů apod., je proto nutné ji pravidelně ověřovat vážením vzorků vhodných délek na přesných laboratorních vahách.

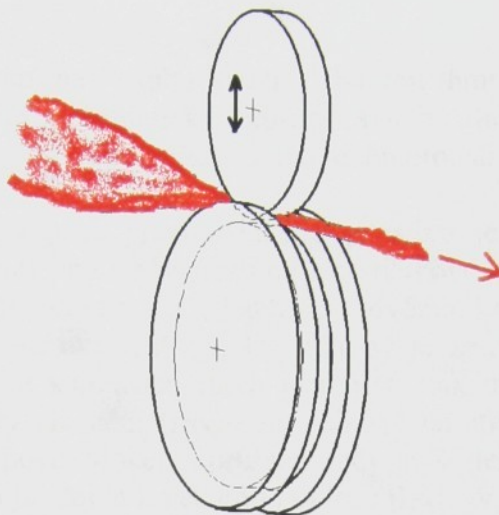
2.2.1 Principy měření hmotnostní nestejnoměrnosti textilních materiálů, zejména pramenů

2.2.1a Mechanický deformační princip

Historicky nejdéle známým principem měření hmotnosti pramene je měření mechanickým snímačem. Jeho použití je zmiňováno již v patentu z roku 1864 (Atherton A.T., USA, US 305 604). Základním principem je klasifikace poměru mezi hmotnostmi měřeného pramene a jeho odporem k příčnému stlačení. Měřenou veličinou může být buď míra stlačení (deformace) při konstantní síle stlačování pramene nebo síla při konstantní míře stlačení pramene. Druhý případ se však v praktických realizacích nepoužíval.

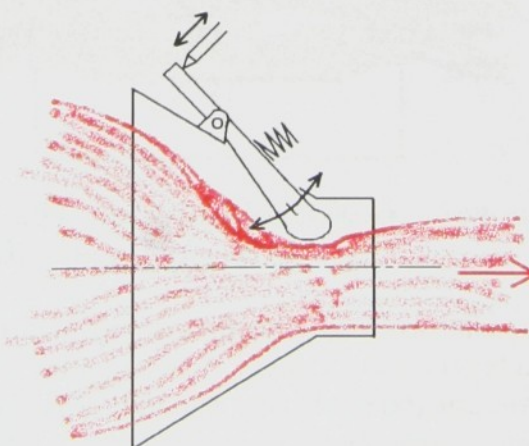
Jedná se zpravidla o rolny nebo jiná tělesa vtlačovaná vlastní vahou nebo pružinou konstantní silou do pramene protahovaného definovaným průřezem (drážkou). Velikost vtlačení nebo přiblížení k pevné rolně jsou úměrné hmotnosti protahovaného pramene. Výhodou je lineární závislost mezi zdvihem rolny a délkovou hmotností pramene. Nevýhodou jsou velké setrvačné hmotnosti pohyblivých částí snímačů, které významně omezují rychlost měřených pramenů. S vývojem elektronických regulátorů se současně vyvíjely i elektronické měřicí systémy. Zpočátku vznikaly např. doplněním mechanického snímače o indukčnostní snímač polohy, který sledoval výchylku pohyblivého ramene.

Na bázi mechanického rolnového principu vznikaly i první přístroje pro měření délkové hmotnosti pramene, např. dle patentu číslo US 1 540 969 Ernesta D. Walena a Arthura H. Parsonse z USA z roku 1925. Pohyblivá rolna byla spřažena s ramenem zapisovače, spodní rolna hnaná klikou pak poháněla také posun papíru v zapisovači.



Obr.1 Uspořádání mechanického snímače délkové hmotnosti pramene rolnového typu. Červeně je naznačen měřený pramen a směr jeho posunu. Spodní rolna s drážkou je pevná, horní je pohyblivá ve svislém směru. Poloha horní rolny určuje délkovou hmotnost úseku pramene sevřeného mezi rolnami.

V současné době používá firma Trützschler na svých mykacích strojích modifikovaný mechanický princip snímání délkové hmotnosti pramene pro regulované průtažné ústrojí. Tento princip má firma Trützschler zpatentovaný např. v patentu US 5 461 757 z roku 1995. Pramen je protahován skrz zhušťovač s výřezem, kterým prochází kyvně zavěšené raménko zatlačované do pramene pružinou. Míra vtlačení raménka do pramene odpovídá jeho délkové hmotnosti. Poloha raménka je snímána indukčností snímačem zdvihu. Toto řešení je konstrukčně poměrně jednoduché a lze ho použít pro široký rozsah hmotností pramene. Nevýhodou je moment setrvačnosti pohyblivé části, který omezuje dynamický rozsah snímače. Další nevýhodou je měření pouze v jednom místě, kdy při nerovnoměrném rozložení vláken v průřezu neodpovídá naměřená délková hmotnost vzorku střední délkové hmotnosti celého průřezu a problémem je i proměnná tuhost pružiny při různé poloze raménka způsobující nelineární závislost mezi zdvihem raménka a délkovou hmotností pramene.

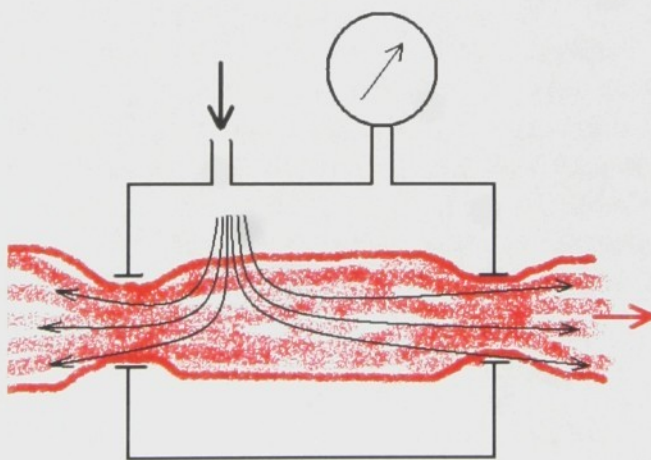


Obr.2 Uspořádání mechanického snímače Trützschler. Pramen prochází kuželovým zhušťovačem, v jehož výřezu je prosunuto kyvně zavěšené raménko zatlačované do pramene pružinou a jeho poloha je sledována indukčností snímačem zdvihu.

2.2.1b Pneumatický princip

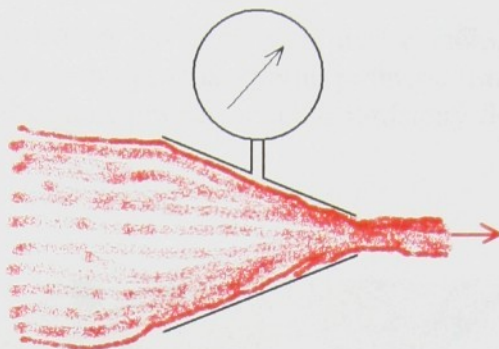
Tento princip je založen na vztahu mezi délkovou hmotností pramene a jeho pneumatickým odporem (pasivní pneumatický princip) a nebo tlakovým spádem (aktivní pneumatický princip). Jeho využití pro měření délkové hmotnosti pramenů je v literatuře zmiňováno od padesátých let.

Základní myšlenkou pasivního pneumatického principu je změna pneumatického odporu definovaně stlačeného pramene v závislosti na jeho délkové hmotnosti. Realizovat lze tento princip například tak, že pramen je protahován dvěma kalibrovanými otvory na protilehlých stranách uzavřené tlakové nádoby. Do nádoby je ze zdroje dodáván stlačený vzduch o konstantním průtoku a snímačem tlaku je měřen tlak uvnitř této nádoby. Tlak v nádobě kolísá se změnou míry zhuštění (závisí na délkové hmotnosti) pramene. Při nižší míře zhuštění pramene (nižším počtu vláken v průřezu, tedy nižší délkové hmotnosti) unikne větší množství vzduchu a v nádobě dojde k většímu poklesu tlaku. Výhodou je měření celého průřezu pramene při dodržení potřebné míry jeho zhuštění v kalibrovaném otvoru. Princip umožňuje měřit hmotnost pramene od nulové rychlosti. Základní nevýhodou je měření hmotnosti pramene ve dvou místech, která se momentálně nalézají v kalibrovaných otvorech nádoby a jsou od sebe vzdálena o podélný rozměr tlakové nádoby. Měřená hodnota je tak pouze jakýmsi průměrováním a neodpovídá skutečné hodnotě hmotnosti pramene v daném místě. Při přechodu na jiný rozsah měřených pramenů (jinou řadu jemností) je nutné změnit průměr kalibrovaných otvorů. Výsledky měření ovlivňuje i rychlost průchodu pramene, zejména při vysokých rychlostech. Navíc zařízení vyžaduje zdroj stlačeného vzduchu a regulátor konstantního průtoku.



Obr.3 Uspořádání pasivního pneumatického snímače. Pramen a směr jeho posunu je vyznačen červeně. Proudění tlakového vzduchu černě.

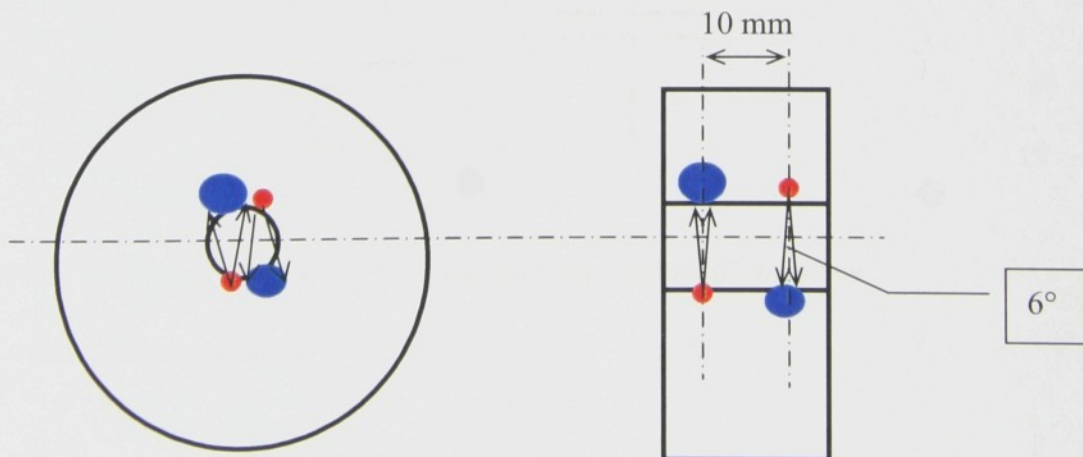
Aktivní pneumatický princip nevyžaduje externí zdroj tlakového vzduchu a využívá tlaku vzduchu unášeného ve struktuře pramene. Pramen vchází do zhušťovače a při přechodu z většího průřezu na menší dochází k vytlačení vzduchu z objemu pramene a tedy ke změně tlaku v měřicí komoře. Změna tlaku závisí na hmotnosti pramene a rychlosti jeho protahování. Protože je tlak úměrný kvadrátu rychlosti protahování pramene snímačem, lze aktivní snímače použít pouze pro kontrolu délkové hmotnosti dostatečně rychle odtahovaných pramenů. Snímač využívající aktivní pneumatický princip byl vyráběn v sedmdesátých letech firmou Zellweger Uster A.G. a používán na posukovacích strojích Rieter D7, kde se rychlost pramenů pohybovala kolem 450 m/min.



Obr.4 Schéma aktivního pneumatického snímače. Pramen a směr jeho průchodu zhušťovačem je vyznačen červeně. Vzduch vytlačený z pramene je měřen přes otvory v plášti zhušťovače.

2.2.1c Optický princip

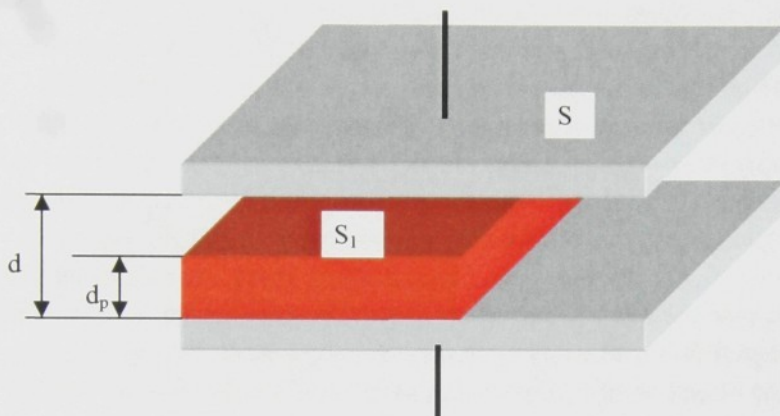
Optický princip se snažil o náhradu principu pneumatického díky své jednoduché konstrukci a snadnému přizpůsobení se širokému rozsahu jemností. Jedním z výrobců byla švýcarská firma Loepfe. Hlavní a největší výhodou tohoto principu je téměř bezdotyková metoda měření. Pramen je naveden ke snímání pomocí zhušťovače (kovový nebo keramický trychtýřek) a v jeho válcové části je umístěn jeden nebo více párů zdroj světla - fotocitlivý snímací prvek. Regulována je intenzita zdroje světla tak, aby množství světla dopadající na snímací prvek bylo konstantní. Pro protažení pramene zhušťovačem postačují velmi nízké síly a pramen tak není deformován nebo protahován. Výhodou je, že při použití světla ve viditelném spektru snímač není závislý na teplotě ani vlhkosti měřeného pramene. Porovnáváním jednotlivých principů však bylo zjištěno, že tento měřicí systém má velmi špatnou opakovatelnost. To je nejspíše způsobeno zejména silnou nehomogeností pramene, kdy je průchod optického paprsku silně ovlivňován polohou vláken, stlačením pramene, rovnoměrností hustoty v příčném průřezu apod. Díky těmto nevýhodám se použití optického principu pro měření pramenů silně omezilo a dnes je využíván zejména pro hodnocení přízí, jejichž homogenita je podstatně vyšší a sledování změn průřezu v jedné ose dostatečně koresponduje se změnami objemovými.



Obr.5 Schéma optického snímače firmy Loepfe. Použity jsou dva páry zdroj-přijímač posunuté ve směru pramene o 10 mm a působící v opačných směrech pro potlačení vzájemného ovlivnění. Využita je také nesymetrická vyzařovací charakteristika infradiody, kdy ve směru osy pramene má rozptyl jen 6° .

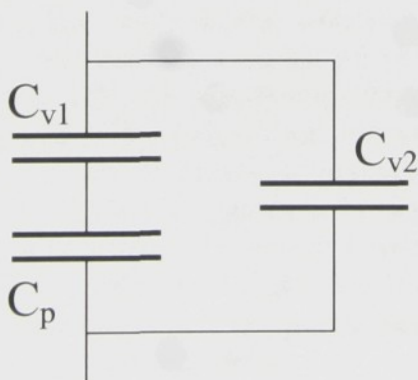
2.2.1d Kapacitní princip

Pramen je podávacím ústrojím naveden mezi desky měřicího kondenzátoru, jehož kapacita se mění v závislosti na objemu procházejícího pramene. Snímač potom funguje jako kondenzátor se složeným dielektrikem pramen-vzduch umístěný do laděného rezonančního obvodu.



Obr.6 Schéma kapacitního snímače, červeně je znázorněn objem pramene mezi deskami kondenzátoru.

Pro zjednodušení uvažujme pramen obdélníkového průřezu bez obsahu vzduchu výšky d_p a zakrývající část S_1 plochy desek kondenzátoru. Při relativní permitivitě pramene ϵ_r označme jeho kapacitu C_p . Pro vzduch uvažujme relativní permitivitu $\epsilon_r = 1$. Vzduch vyplňuje plochu $S - S_1$ o výšce d (kapacita C_{v2}) a plochu S_1 o výšce $d - d_p$ (kapacita C_{v1}). Složení dielektrika ve snímači lze překreslit do náhradního obvodu na obrázku 7.



Obr.7 Náhradní schéma kapacitního snímače hmotnosti pramene

Pro celkovou kapacitu snímače C pak platí:

$$C = \frac{C_p C_{v1}}{C_p + C_{v1}} + C_{v2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \frac{S_1}{d_p} \cdot \epsilon_0 \frac{S_1}{d - d_p}}{\epsilon_0 \epsilon_r \frac{S_1}{d_p} + \epsilon_0 \frac{S_1}{d - d_p}} + \epsilon_0 \frac{S - S_1}{d} = \epsilon_0 \left[\frac{S_1}{d - d_p \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r} \right)} + \frac{S - S_1}{d} \right] \quad (2.5)$$

Pokud by byla uvažována vlhkost pramene jako samostatný faktor, lze rozdělit kapacitu C_p na dvě sériově řazené kapacity tvořené vodou a objemem suchých vláken. Tyto složky by měly různou relativní permitivitu a součet jejich výšek by byl roven d_p .

Vyhodnocována je změna frekvence rezonančního obvodu v porovnání s referenčním oscilátorem. Velkou výhodou je, že pramen nemusí procházet žádným zhušťovačem, ale stačí, aby celý jeho objem prošel mezi deskami měřicího kondenzátoru (šíře i několik cm). Tento princip také umožňuje měření širokého rozsahu jemností pramene bez nutnosti změny měřicího členu. Kapacitní snímač má velmi dobrou opakovatelnost. Nevýhodou je průměrování hmotnosti pramene dané délkou desek kondenzátoru (řádově 8 až 20 mm) a také závislost na vlhkosti měřeného pramene. Závislost na vlhkosti a teplotě určuje přístrojům vybaveným kapacitním snímačem úlohu zejména laboratorních přístrojů pracujících v definovaných laboratorních podmínkách. Podle požadavků výrobce (návodů k obsluze Uster Tester, Zellweger Uster A.G.) musí být pramen uskladněn v prostoru s definovanou teplotou a vlhkostí nejméně 24 hodin a výsledek měření určující např. správnost nastavení stroje je tak významně opožděn. Hrozí proto riziko dlouhodobější odstávky stroje nebo produkce materiálu nesplňujícího kvalitativní požadavky.

Kapacitní princip měření délkové hmotnosti využívá i světově nejuznávanější firma vyrábějící snímače nerovnoměrnosti pramene – švýcarský Zellweger Uster A.G. u přístrojů řady Uster Tester. Jako součást regulačních obvodů strojů se kapacitní snímače nepoužívají.

2.2.1e Měření odporových protahovacích sil

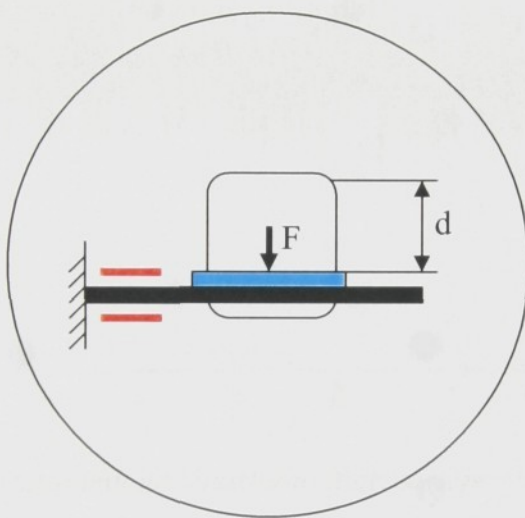
Měří se odporová síla nebo deformace vyvolaná protažením pramene zhušťovačem. Poprvé tento princip publikovali K.Mihira a H.Takeda v roce 1958 [2]. Trychtýřový zhušťovač byl vsazen do osy vinuté pružiny a měřena byla jeho poloha daná mírou stlačení pružiny. Dnes nejvíce používaná koncepce je tenzometrická. Zhušťovač je připevněn k vetknutému nosníku, který má v místě největší deformace nalepen tenzometrický můstek. Používají se tenzometrické snímače síly s fóliovými nebo polovodičovými tenzometry. Průchodem pramene zhušťovačem dojde k jeho mírnému protažení, což je asi největší nevýhoda v porovnání s kapacitním principem, avšak při vhodné volbě citlivosti snímače lze odporové síly snížit a protažení pramene se pohybuje řádově v desetinách procenta. Další nevýhodou je vliv materiálu pramene (koeficient tření, tuhost vláken, míra uspořádání vláken) a silně nelineární závislost mezi délkovou hmotností pramene a odporovou protahovací silou. Tuto závislost lze kompenzovat určením linearizační křivky nebo částečnými linearizacemi využitím řady zhušťovačů s odstupňovanými průměry otvorů. Výhodami jsou naopak vysoká opakovatelnost měřicího principu a průměrování přes kratší délky (dáno délkou válcové části měřicího členu), než u kapacitního principu. Také je zde menší závislost na vlhkosti pramene a proto je tento princip vhodný i pro regulaci strojů.

Existuje řada patentů na různá konstrukční provedení snímačů (namátkou např. P.B.Bissette, USA, US 6 118 082, V.S. Nikolajev, V.K. Poljakov, G.D. Luzgin, I.I. Štut, M.A. Lipman, SSSR, SU 1735443, A.A. Ljovin, V.S. Nikolajev, A.D. Semenov, SSSR, SU 1432104 a další). Jedním z nejdéle vyráběných a průmyslově používaných je snímač firmy Gunter&Cook. Vývoj a výroba těchto snímačů probíhá i ve VÚTS Liberec, a.s.

Snímače na principu odporových protahovacích sil jsou podrobněji popsány v kapitole 3 této práce.

2.2.1f Měření tlakových sil

Jedná se o měření tlakové síly vyvolané pramenem stlačeným do definovaného objemu, např. při průtahu podélně děleným válcovým vedením. Vyhodnocována je poloha pohyblivé části vedení upevněné na deformačním nosníku. Další možností je vložení měřícího nosníku do výřezu ve zhušťovači. Toto řešení využívá například snímač Uster FP patentovaný pod číslem US 4 864 853 z roku 1987. Výhodou je proti principu odporové protahovací síly eliminace vlivu tření, nevýhodou možnost působení výslednice tlakové síly mimo osu otvoru zhušťovače, tedy vyvolávající jiný ohybový moment na nosník změnou délky ramene. I zde se objevuje silná nelineární závislost mezi délkovou hmotností pramene a tlakovou silou. Firma Zellweger Uster A.G. tento problém řeší částečnou linearizací nabídkou vhodně odstupňovaných průřezů výměnných zhušťovačů.



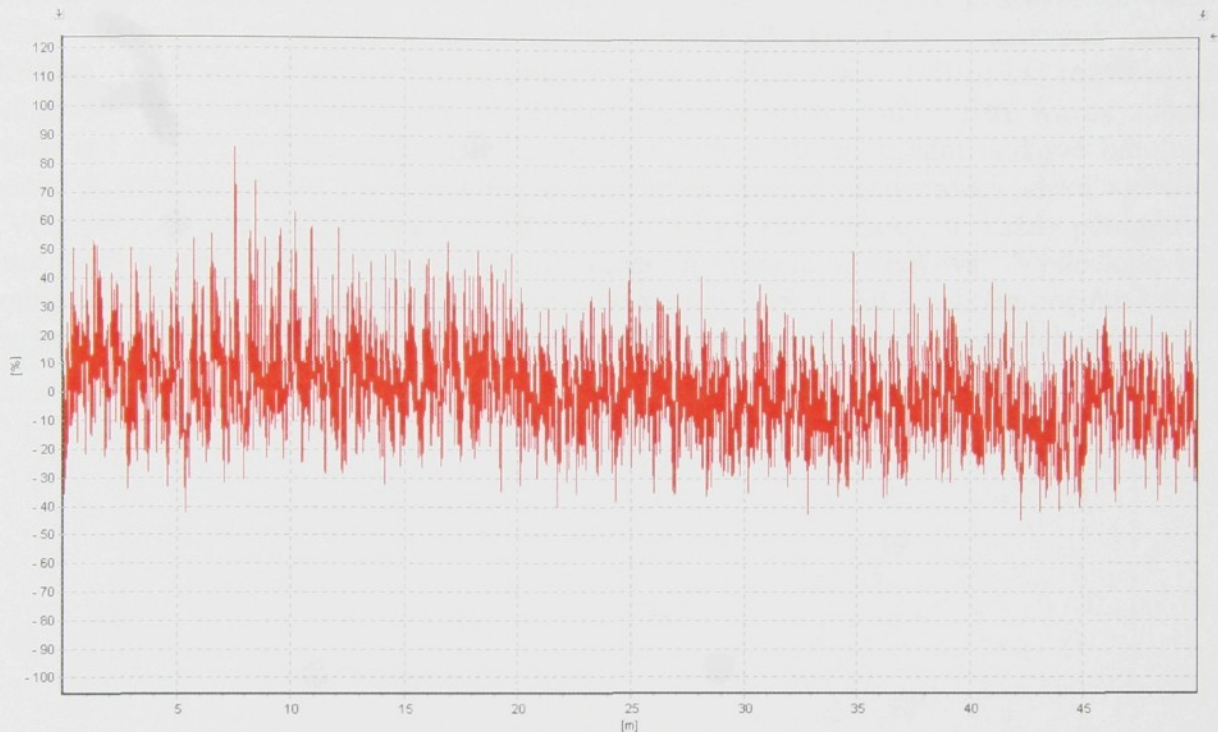
Obr.8 Schéma snímače Uster FP. Kuželový zhušťovač přechází do obdélníkového průřezu se zaoblenými rohy. Výřezem je vložen měřicí člen s tenzometry (vyznačeny červeně) a keramickou destičkou (modrá), na kterou působí tlaková síla F zhuštěného pramene. Změna rozsahu snímače je řešena výměnnou částí zhušťovače s různou výškou d kalibrovaného otvoru.

2.3 Hodnocení hmotnostní nestejnoměrnosti pramenů

Pro hodnocení hmotnostní nestejnoměrnosti pramenů se již přes třicet let používají v praxi téměř výhradně přístroje Uster Tester švýcarské firmy Zellweger Uster A.G. V současnosti je na trhu již pátá generace. Uster Tester je určen pro měření v laboratořích a využívá kapacitní princip měření (viz kap. 2.2.1d). V textilní praxi se díky těmto přístrojům 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. U novějších typů přístrojů se objevuje ještě histogram.

2.3.1 Hmotnostní diagram

Pro každý měřený elementární úsek pramene je určena procentuální odchylka jeho hmotnosti od střední hmotnosti celého vzorku. Tyto odchylky jsou pak zobrazeny v závislosti na délce pramene.



Obr.9 Příklad typického záznamu hmotnostního diagramu pro vzorek pramene délky 50 m.

Hodnota variačního koeficientu CV je pro i-tý vzorek určena podle vztahu

$$CV = \frac{100}{\bar{\gamma}} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (\gamma_i - \bar{\gamma})^2 dt} \quad [\%], \tag{2.6}$$

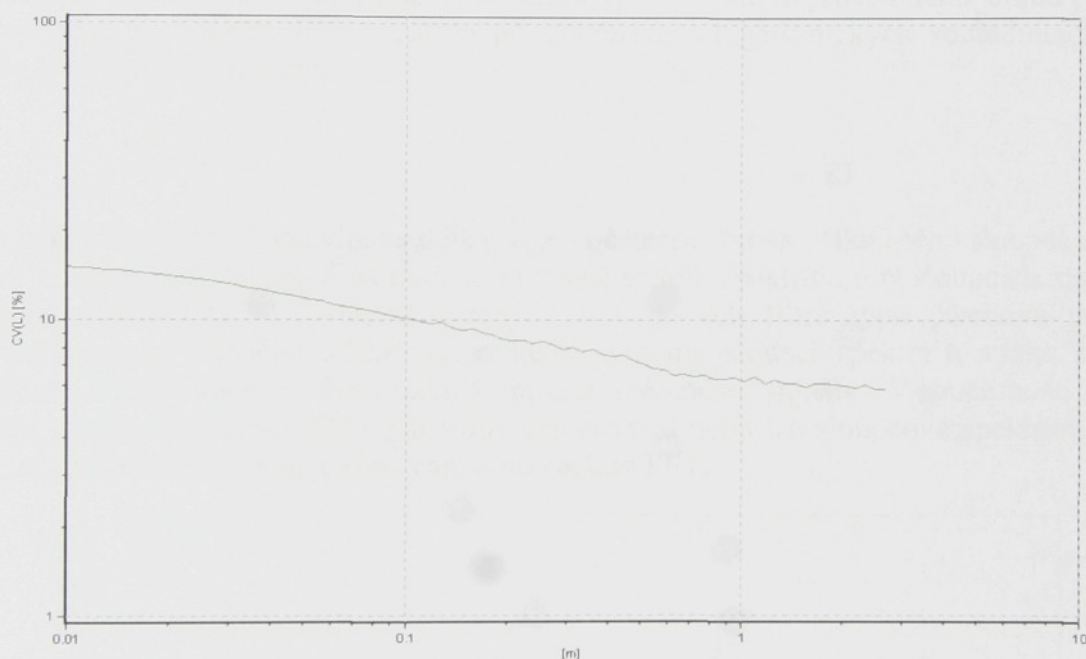
kde

- CV [%] variační koeficient
- T [s] perioda vzorkování
- γ_i [ktex] okamžitá hodnota délkové hmotnosti
- $\bar{\gamma}$ [ktex] střední hodnota délkové hmotnosti

U přístrojů Uster Tester probíhá měření tak, že přístroj nejprve určí střední hodnotu hmotnosti pramene z úseku předcházejícího měřenému vzorku (řádově 5 až 10 m pramene v závislosti na kolísání délkové hmotnosti). Odchylky pak vztahuje k této střední hodnotě. Při silně kolísavé hmotnosti pramene tak může vznikat chyba, protože střední hmotnost předcházejícího úseku se může významně lišit od střední hmotnosti měřeného vzorku.

2.3.2 Délková variační křivka CV(L)

Délková variační křivka (křivka délkových změn) je výchozím kritériem hodnocení kvality přádelnických pramenů. Vynáší se do logaritmických souřadnic. Jakost pramene charakterizuje sklon křivky, její tvar a hodnoty CV pro konkrétní vlnové délky. Při jednodušších vyhodnoceních mohou být určovány pouze hodnoty CV pro vybrané vlnové délky. Historicky prvním postupem určování hodnot CV křivky byla takzvaná „metoda stříhání“. Odebraný a zvážený vzorek pramene známé délky (např. 100 m) byl rozstříhán na celočíselný počet dílů stejné délky, nejprve např. dvacet úseků o délce 5 m. Každý z těchto úseků byl zvážen a vypočtena odchylka délkové hmotnosti od střední délkové hmotnosti celého původního vzorku. Průměrná hodnota odchylek všech dvaceti vzorků udávala hodnotu CV(L) pro $L = 5$ m. Následovalo rozstříhání vzorků na kratší úseky, tj. každý pět metrový úsek např. na pět metrových a celý proces vážení a výpočtu se opakoval. Výsledkem byla hodnota CV(L) pro $L = 1$ m. Celý proces byl však zdoluhavý a vedl k velkým počtům vzorků pro kratší délky L . Hodnoty CV se proto určovaly jen pro několik málo zvolených délek L .



Obr.10 Příklad variační křivky CV(L) pro vzorek pramene délky 50 m.

Jednotlivé body délkové variační křivky CV(L) jsou vypočteny pomocí následujících vztahů:

$$L = 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, \dots, 10, \dots, 100 \text{ m}$$

k ... celkový počet úseků při rozdělení naměřeného průběhu na úseky o délce L

$$\bar{\gamma}(L) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \gamma_i(L) \quad (2.7)$$

$$\sigma(L) = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (\gamma_i(L) - \bar{\gamma}(L))^2} \quad (2.8)$$

$$CV(L) = \frac{\sigma(L)}{\bar{\gamma}(L)} * 100 \text{ [%]} \quad (2.9)$$

$\bar{\gamma}$ [ktex] střední hmotnost úseků pramene délky L
 γ_i [ktex] hmotnost i-tého úseku délky L
 $\sigma(L)$ [-] střední kvadratická odchylka úseků pramene délky L
 $CV(L)$ [%] variační koeficient úseků pramene délky L

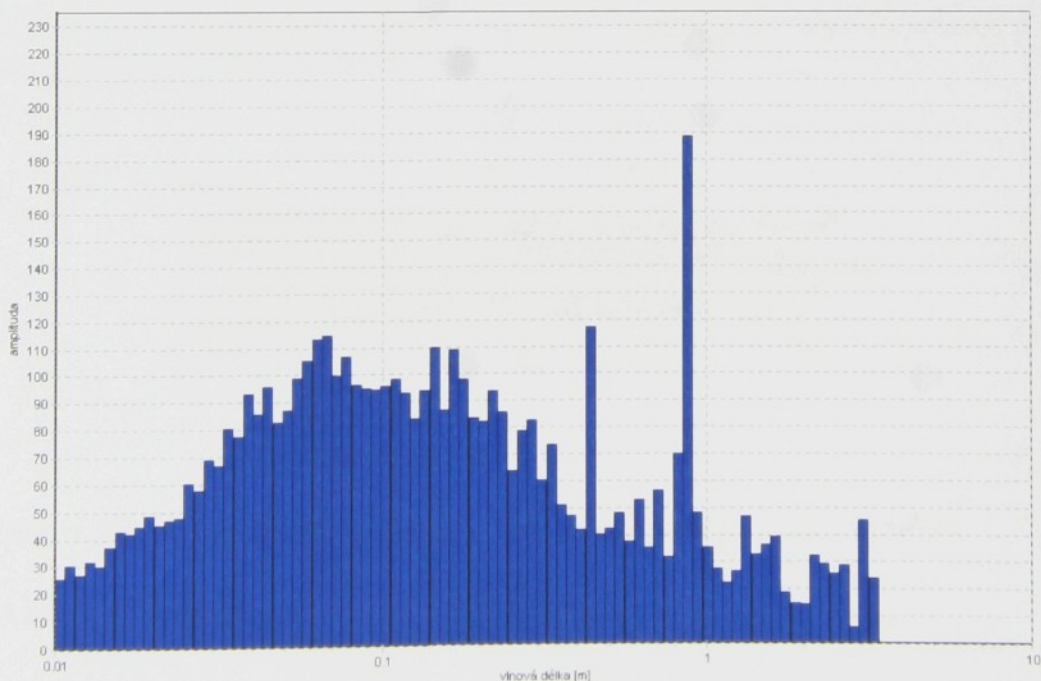
Křivka $CV(L)$ je určena až po vlnovou délku odpovídající meznímu celočíselnému podílu měřené délky pramene (většinou dvacetina délky). Pro větší vlnové délky by vypočtené hodnoty nebyly statisticky dostatečně věrohodné, neboť tyto vlnové délky nemají v měřeném úseku dostatečný počet period.

2.3.3 Sloupcový spektrogram

Tento spektrogram s logaritmickou osou x se v odborné literatuře nazývá CPB spektrum (CPB = Constant Percentual Bandwidth, tj. s konstantní procentuální šířkou pásma). Jeho výhodou je konstantní šíře pásma při zobrazení v logaritmických souřadnicích. Šíře sloupců je vyjádřena vztahem

$$x_i = x_0 \left(\sqrt[n]{2} \right)^i, \quad (2.10)$$

kde x_0 je nejmenší sledovaná vlnová délka, x_i je počáteční vlnová délka i-tého sloupce spektra a faktor n udává počet sloupců na oktávu. Původně se toto spektrum o N sloupcích získávalo vpuštěním signálu do N paralelně řazených analogových filtrů typu pásmová propust. Frekvenční pásmo každého z filtrů odpovídalo jednomu sloupci spektra a výška sloupce odpovídala energii daného frekvenčního pásma měřeného signálu. V současnosti se při určování spekter analogové filtry nahradily číslicovými nebo lze sloupcové spektrum získat jako sumu amplitud pro daná pásma čarového spektra FFT.



Obr.11 Příklad sloupcového spektra pro vzorek pramene délky 50 m.

3. Princip měření délkové hmotnosti pramenů pomocí odporové protahovací síly

Tato metoda byla poprvé předložena K. Mihirou a H. Takedou v roce 1958 [2]. Lze ji použít pro kontrolu délkové hmotnosti pramene a pravděpodobně i přástu (ve své práci jsem se měřením přástu nezabýval, ale vzhledem k podobné struktuře lze předpokládat, že při vhodně zvoleném průřezu zhušťovače lze metodu použít). Metoda je založena na závislosti mezi délkovou hmotností pramene a odporovou silou při jeho protažení zhušťovačem s kalibrovaným otvorem.

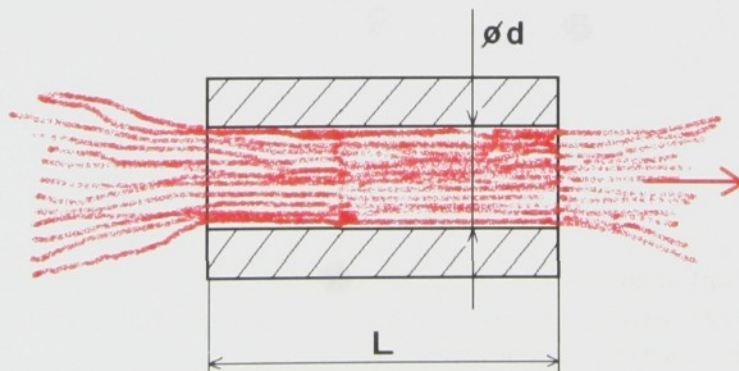
V měřeních uvedených v této a následujících kapitolách byla použita řada vzorků pramenů z různých materiálů a technologií zpracování. V práci jsou uvedeny zjednodušeným názvem, jejich přesnější popis spolu s parametry vláken je shrnut v příloze 1. Pro výpočty a grafické zpracování výsledků byl použit vyhodnocovací software FlexPro 6.

3.1 Teoretické vztahy pro statickou odporovou sílu ve zhušťovači

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. Jako výchozí model chování pramene při stlačení byl uvažován model C. M. van Wyka, teoretické vztahy jsou převzaty z [1] a [2], byly opraveny chyby v odvození, které se v obou publikacích objevily. Vzhledem k relativně krátkému času průchodu pramene zhušťovačem nebyla uvažována časová závislost regenerace stlačeného pramene.

3.1.1 Válcový zhušťovač

Uvažujeme válcový zhušťovač průměru d a délky L , kterým je protahován pramen o délkové hmotnosti γ a objemové hustotě vláken ρ .



Obr.12 Válcový zhušťovač s vyznačeným pramenem a hlavními rozměry.

Relativní hustotu (zhuštění) pramene lze vyjádřit jako

$$\omega = \frac{4\gamma}{\pi d^2 \rho}. \quad (3.1)$$

Normálový tlak na jednotku plochy zhušťovače je dle van Wykova vztahu

$$P = \alpha(\omega^3 - \omega_0^3), \quad (3.2)$$

kde α je experimentálně určovaná konstanta daná typem vlákna, materiálem zhušťovače, teplotou, vlhkostí atd. a ω_0 je počáteční zhuštění, tj. takové stlačení pramene, které je schopno vyvolat odporovou sílu při protahování (experimentálně je pro bavlnu uvažováno $\omega_0 \approx 0,08$, tj. míra zaplnění 8 %, viz [1]). Pomocí normálového tlaku vypočteme odporovou sílu

$$F = P\mu\pi dl, \quad (3.3)$$

kde μ je koeficient statického tření vláken o stěnu zhušťovače. Koeficient tření lze zahrnout do konstanty

$$\alpha_1 = \alpha\mu \quad (3.4)$$

a vztah pro odporovou sílu tedy je

$$F = \pi dl\alpha_1(\omega^3 - \omega_0^3). \quad (3.5)$$

Pro získání vztahu mezi délkovou hmotností pramene a odporovou protahovací silou dosadíme za ω a získáme kubickou funkci

$$F = a_1\gamma^3 - a_2, \quad (3.6)$$

kde

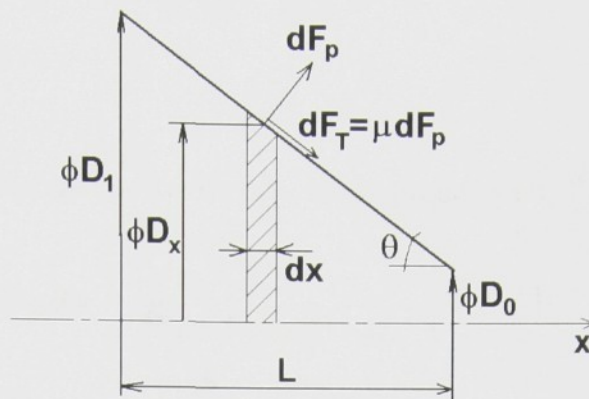
$$a_1 = \frac{64\alpha_1 l}{\pi^2 d^5 \rho^3} \quad (3.7)$$

$$a_2 = \alpha_1 \pi d l \omega_0^3. \quad (3.8)$$

3.1.2 Kuželový zhušťovač

Praktické užití kuželového zhušťovače se jeví praktičtější než válcového zejména z důvodu snadnějšího zavádění pramene. Kuželový zhušťovač však vyvolává nižší odporové síly. Při stejné délce a výstupním průměru D_0 odpovídajícím průměru válcového zhušťovače je při úhlu $\Theta = 35^\circ$ síla přibližně 5,5krát nižší. Výsledky jsou také méně stabilní, zejména kvůli proměnné styčné ploše pramen-zhušťovač dané proměnným objemem vstupujícího pramene.

Uvažujme kuželový zhušťovač daný rozměry zobrazenými na obrázku 13.



Obr.13 Řez kuželovým zhušťovačem s vyznačenými rozměry a silami na něj působícími.

Pro normálové stlačení platí

$$dF_p = \frac{\alpha(\omega^3 - \omega_0^3) \pi D_x}{\cos \theta} dx \quad (3.9)$$

a třecí síla je pak

$$dF_T = \mu dF_p. \quad (3.10)$$

Pro odporovou protahovací sílu ve směru průchodu pramene pro zhušťovač délky L platí

$$F = \int_0^L dF = \int_0^L [dF_p \sin \theta + dF_T \cos \theta] dx. \quad (3.11)$$

Pro průměr v místě x platí

$$D(x) = D_0 + 2tg\theta x \quad (3.12)$$

a z toho pro substituci za dx použijeme

$$dx = \frac{dD}{2tg\theta}. \quad (3.13)$$

Dosadíme do výrazu pro dF_x

$$\begin{aligned} dF(x) &= dF_p (\sin \theta + \mu \cos \theta) dx = \frac{\alpha \pi D(x)}{2tg\theta \mu \cos \theta} (\sin \theta + \mu \cos \theta) \left[\left(\frac{4\gamma}{\pi \rho} \right)^3 \frac{1}{D(x)^6} - \omega_0^3 \right] dD = \\ &= \frac{\alpha \pi}{2} \left(\cot g\theta + \frac{1}{\mu} \right) \left[\left(\frac{4\gamma}{\pi \rho} \right)^3 \frac{1}{D(x)^5} - \omega_0^3 D(x) \right] dD, \end{aligned} \quad (3.14)$$

kde pro relativní zhuštění (hustotu) pramene ω platí stejný výraz jako u válcového zhušťovače

$$\omega = \frac{4\gamma}{\pi d^2 \rho}. \quad (3.15)$$

Zintegrováním získáme vztah pro celkovou odporovou protahovací sílu

$$F = \int_0^L dF = \frac{\alpha\pi}{2} \left(\cot g\theta + \frac{1}{\mu} \right) \left\{ \left(\frac{4\gamma}{\pi\rho} \right)^3 \left[\frac{1}{4D_0^4} - \frac{1}{4D_1^4} \right] - \omega_0^3 \frac{1}{2} [D_1^2 - D_0^2] \right\}. \quad (3.16)$$

Pro získání vztahu mezi délkovou hmotností pramene a odporovou protahovací silou získáme kubickou funkci

$$F = b_1 \gamma^3 - b_2, \quad (3.17)$$

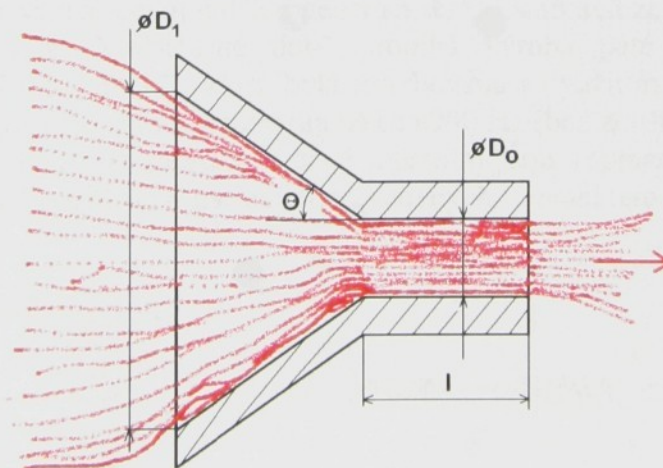
kde

$$b_1 = \frac{8\alpha}{\mu\rho^3\pi^2} (\mu \cot g\theta + 1) \left[\frac{1}{D_0^4} - \frac{1}{D_1^4} \right] \quad (3.18)$$

$$b_2 = \frac{\alpha\pi}{4\mu} (\mu \cot g\theta + 1) [D_1^2 - D_0^2] \omega_0^3. \quad (3.19)$$

3.1.3 Trychtýřový zhušťovač

Spojení výhod válcového a kuželového zhušťovače, tj. snadné zavedení pramene do kuželové části a dostatečně velký a stabilní signál vede k využití zhušťovače trychtýřového tvaru.



Obr. 14 Trychtýřový zhušťovač s vyznačeným pramenem a hlavními rozměry.

Vztah mezi délkovou hmotností pramene a odporovou protahovací silou lze získat součtem kubických funkcí pro kuželový a válcový zhušťovač. Obecně tedy platí

$$F = (a_1 + b_1)\gamma^3 - (a_2 + b_2), \quad (3.20)$$

kde

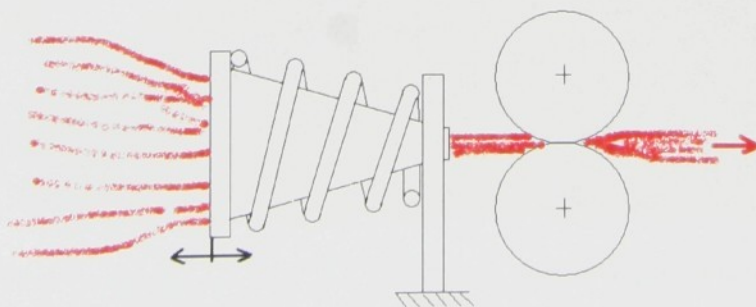
$$a_1 + b_1 = \frac{64\alpha\mu l}{\pi^2 D_0^5 \rho^3} + \frac{8\alpha}{\mu\rho^3\pi^2} (\mu \cot g\theta + 1) \left[\frac{1}{D_0^4} - \frac{1}{D_1^4} \right] \quad (3.21)$$

$$a_2 + b_2 = \alpha\mu\pi D_0 l \omega_0^3 + \frac{\alpha\pi}{4\mu} (\mu \cot g\theta + 1) [D_1^2 - D_0^2] \omega_0^3, \quad (3.22)$$

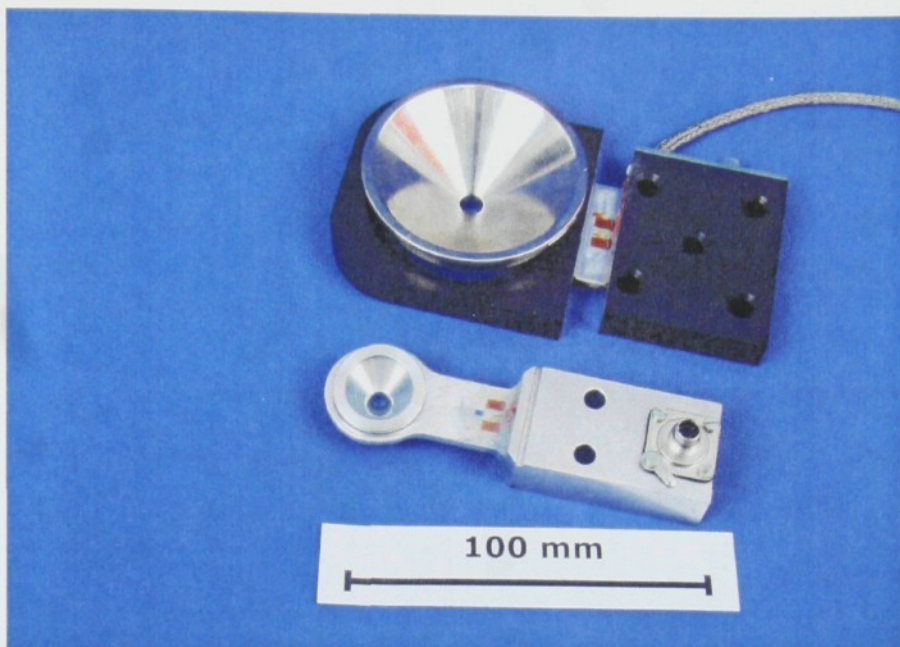
l je délka válcové části zhušťovače.

3.2 Snímače délkové hmotnosti pramene na principu měření odporové protahovací síly

První snímače délkové hmotnosti pramene na principu měření odporové protahovací síly realizovali Mihira a Takeda [2]. Měřeno bylo stlačení pružiny, ve které byl osazen zhušťovač (viz obr.15). Problémem byla nedefinovaná poloha zhušťovače a větší vzdálenost odtahovacích válečků díky velkému zdvihu pružiny. S rozšířením využití 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 (obr.16). První provedení bylo velice masivní s velkými hmotami a masivním ocelovým zhušťovačem, vlastní frekvence snímače proto dosahovala hodnot pouze kolem 100 až 150 Hz. 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 (obr.17), která byla navrhována s využitím metody konečných prvků. Vlastní frekvence těchto snímačů vzrostla na cca 900 Hz (bez zhušťovače až 1400 Hz). Vlastní frekvence pro jeden kus snímače určené měřením jsou zobrazeny na obrázku 18. Snímač TRM VÚTS 5 byl používán v měřeních provedených v rámci této práce.



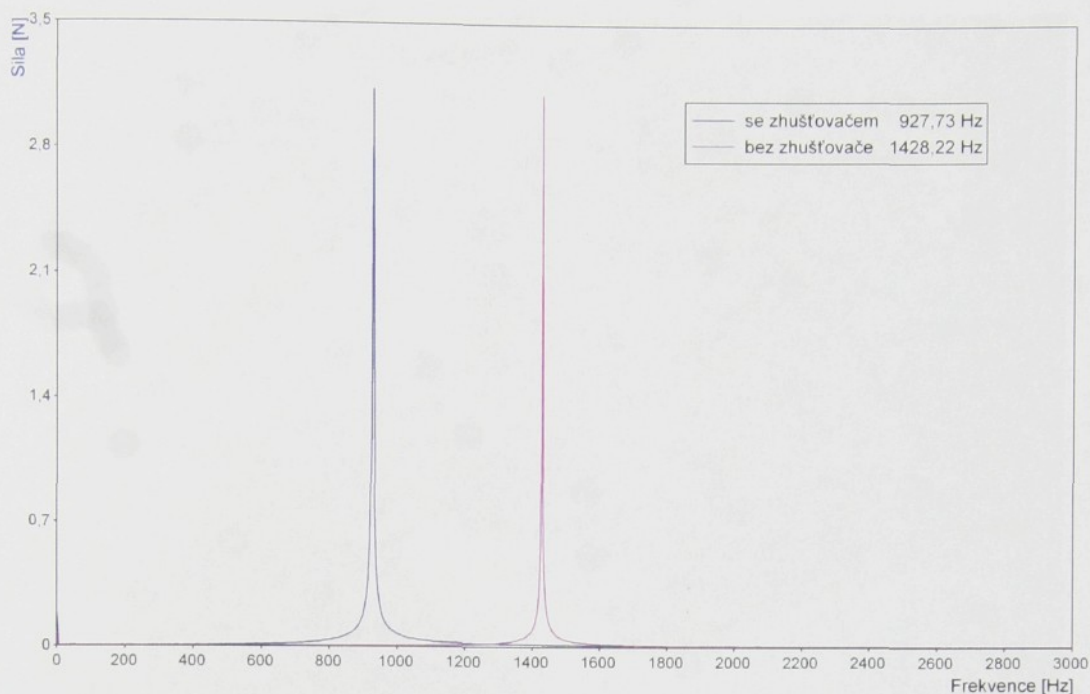
Obr.15 Původní provedení snímače s pružinou z návrhů Mihiry a Takedy.



Obr.16 Fotografie ukazuje porovnání snímačů TRM VÚTS 1 (licence Gunter&Cook, nahoře) a TRM VÚTS 5. Snímač TRM-VÚTS 5 je zobrazen před nanesením ochranné plastické vrstvy přes tenzometry. Za masivní tělo je pomocí dvou šroubů připevňován k rámu stroje.



Obr.17 Kompletní snímač TRM VÚTS 5 s výměnnými ocelovými zhušťovači s různými průměry kalibrovaných otvorů.



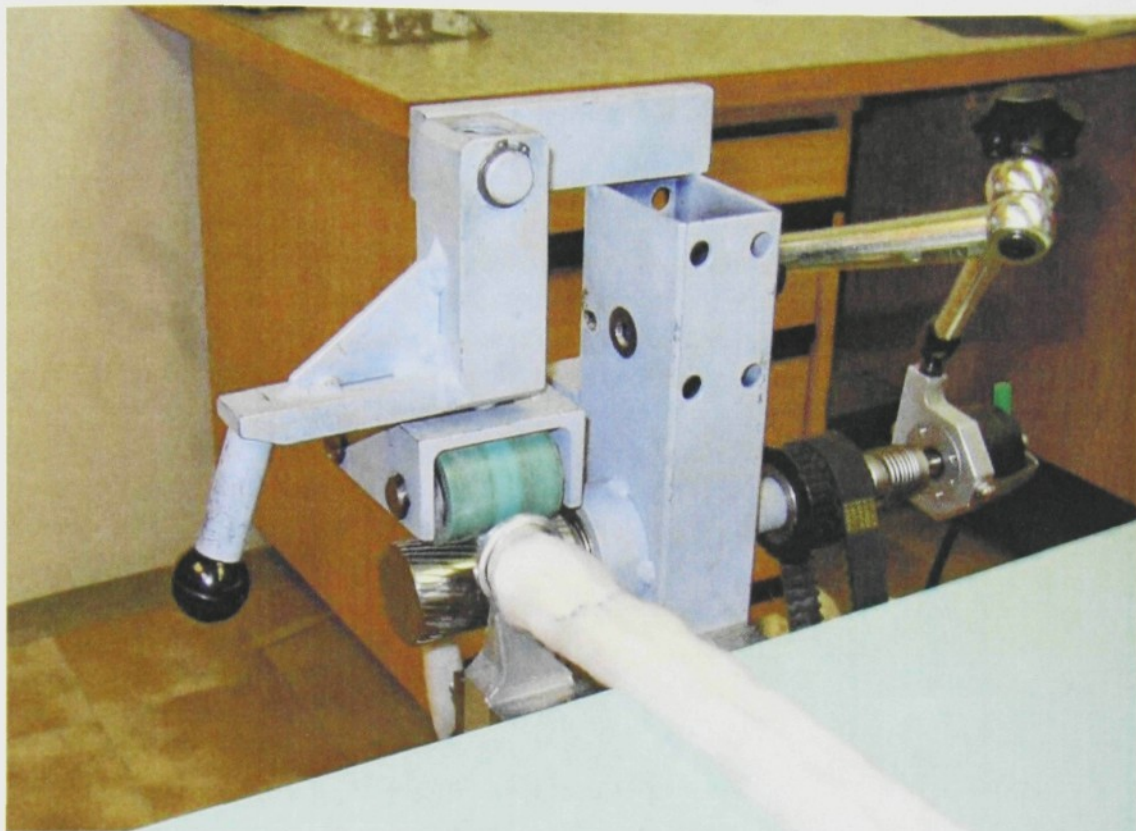
Obr.18 Spektra znázorňující měření vlastní frekvence snímače TRM-VÚTS 5 se zhušťovačem a bez zhušťovače. Snímač byl upevněn k masivní desce a vlastní frekvence vybudena úderem.

3.3 Převodní funkce odporová protahovací síla - délková hmotnost pramene

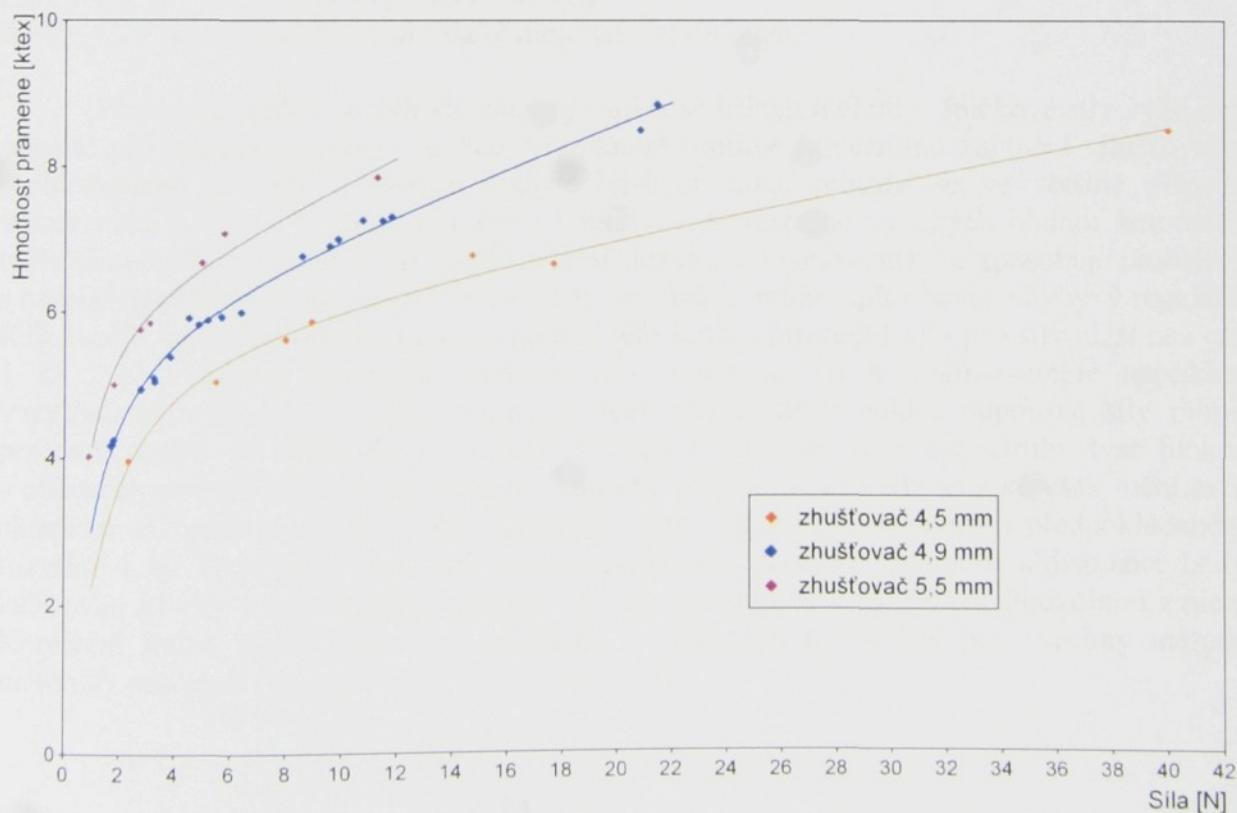
K měření skutečných hodnot délkové hmotnosti pramene nebo jejich skutečných odchylek je nutné kompenzovat silnou nelineární závislost mezi odporovou protahovací silou a délkovou hmotností pramene. Základní teoretické vztahy (kapitola 3.1) byly navrženy s řadou zjednodušujících předpokladů. Pro jejich 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 100% bavlna mykaná od firmy Hybler Semily vyrobené na jednom mykacím stroji (Trützschler DK903) s odstupňovanými středními délkovými hmotnostmi 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 7 a 8 ktex. Snímač TRM VÚTS 5 osazený na měřicím stendu s jedním párem odtahovacích válečků byl zkalibrován na sílu pomocí cejchovaného závaží. Vzorky pramenů délky cca 1.3m s definovaným zastřiženým koncem byly zavedeny do stendu a zaznamenán průběh odporové síly a odměřená délka pramene. Délka pramene byla určována pomocí inkrementálního snímače připevněného k protahovacímu válečku se známým průměrem. Z každého proměřeného vzorku byl oddělen úsek délky 1 m od zastřiženého konce směrem vpřed, čímž se eliminovaly vlivy způsobené zavedením pramene do snímače, a vážením na přesných laboratorních vahách Mettler PM-200 byla určena hmotnost tohoto úseku. Z naměřeného průběhu odporové protahovací síly byl určen odpovídající úsek délky 1 m a z něj vypočtena střední hodnota síly. Hmotnost daná vážením a naměřená střední odporová protahovací síla dávají jeden bod kalibrační křivky.

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 družené 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.19 Měřicí stend se snímačem TRM VÚTS 5 a inkrementálním snímačem otáček připevněným k ose spodního kovového protahovacího válečku.



Obr.20 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).

3.3.1 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. Pro optimální poměr mezi citlivostí snímače a deformací pramene odporovou protahovací silou způsobující přidavné protažení, je vhodné volit pracovní rozsah odporové protahovací síly v pásmu 4 až 10 N a tomu přizpůsobit volbu zhušťovače s odpovídajícím průměrem. Vzhledem k silné nelinearitě závislosti byl rozšířen rozsah měřených bodů pro stanovení převodní funkce na hodnoty od 2 do 15 N. Zvýší se tak přesnost aproximace i v krajních mezích pracovního intervalu.

Vzhledem k tomu, že teoretické vztahy (viz kapitola 3.1.3) v potřebném rozsahu nekorespondují dostatečně s naměřenými body, bylo potřeba nalézt jiný tvar aproximační funkce. Optimální tvar aproximačních funkcí byl určován experimentálně, významným členem pro aproximaci se ukázal být dekadický logaritmus. Jako optimální a postačující se jeví dvě podoby převodní funkce

$$\gamma = C_1 + C_2F + C_3F^{-1} + C_4F^{-2} + C_5 \log_{10}(F) \quad (3.23)$$

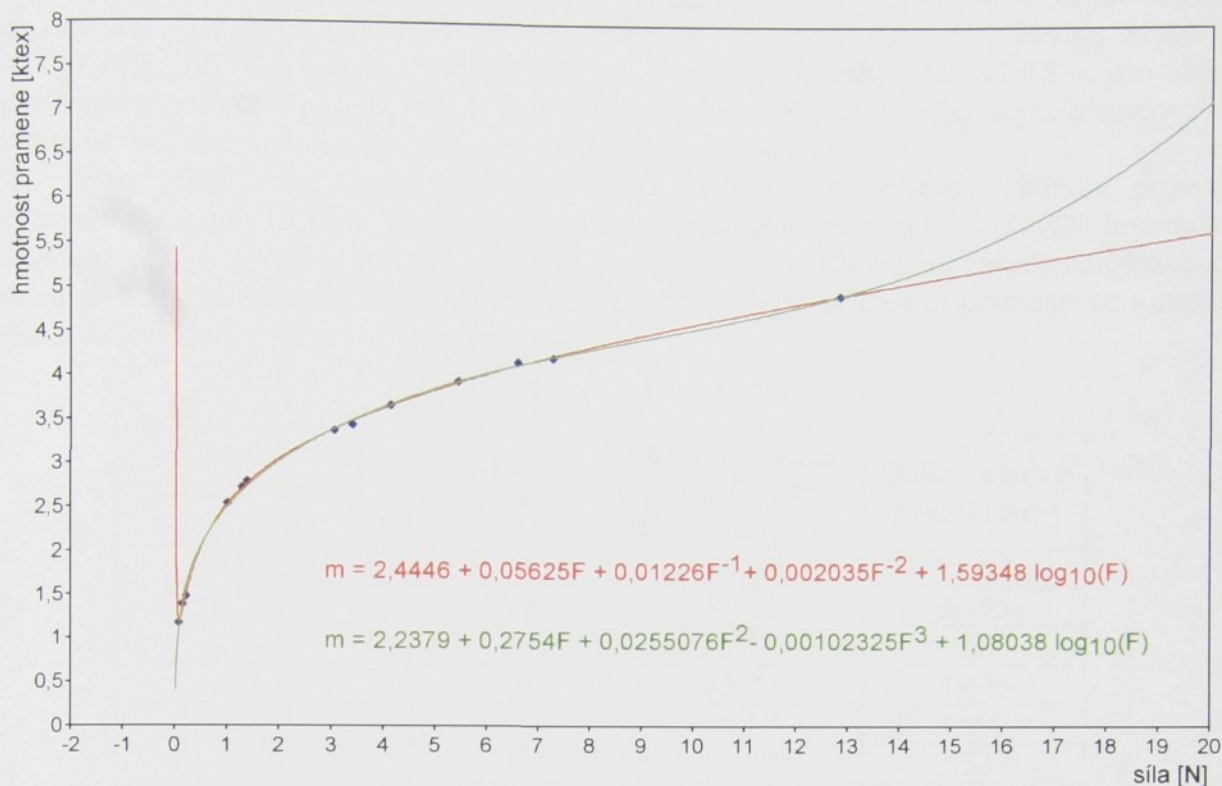
$$\gamma = K_1 + K_2F + K_3F^2 + K_4F^3 + K_5 \log_{10}(F) \quad (3.24)$$

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 1 N 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 2 N 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 10 N 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 (viz porovnání v kapitole 3.3.2).



Obr.21 Porovnání obou typů aproximační funkce tvořících kalibrační křivku zhušťovače průměru 3,5 mm pro materiál 100% bavlna mykaná ze stroje UNIREA s průtahem VÚTS. Optimální měřicí rozsah pro tento materiál a zhušťovač je 3,5 až 4,5 ktex (odporová síla 4 až 10 N).

3.3.2 Porovnání teoretické a naměřené převodní funkce

Uvažujeme-li teoretické vztahy pro trychtýřový zhušťovač z kapitoly 3.1.3 a upravíme je tak, aby byla vyjádřena závislost hmotnosti pramene na odporové protahovací síle, získáme výraz

$$\gamma = \sqrt[3]{\frac{F + (a_2 + b_2)}{a_1 + b_1}}, \quad (3.25)$$

kde

$$a_1 + b_1 = \frac{64\alpha\mu l}{\pi^2 D_0^5 \rho^3} + \frac{8\alpha}{\mu\rho^3\pi^2} (\mu \cot g\theta + 1) \left[\frac{1}{D_0^4} - \frac{1}{D_1^4} \right] \quad (3.26)$$

$$a_2 + b_2 = \alpha\mu\pi D_0 l \omega_0^3 + \frac{\alpha\pi}{4\mu} (\mu \cot g\theta + 1) [D_1^2 - D_0^2] \omega_0^3. \quad (3.27)$$

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. Rozměry příslušných zhušťovačů použité ve výpočtu parametrů a_1 , a_2 , b_1 , b_2 jsou uvedeny v tabulce 1.

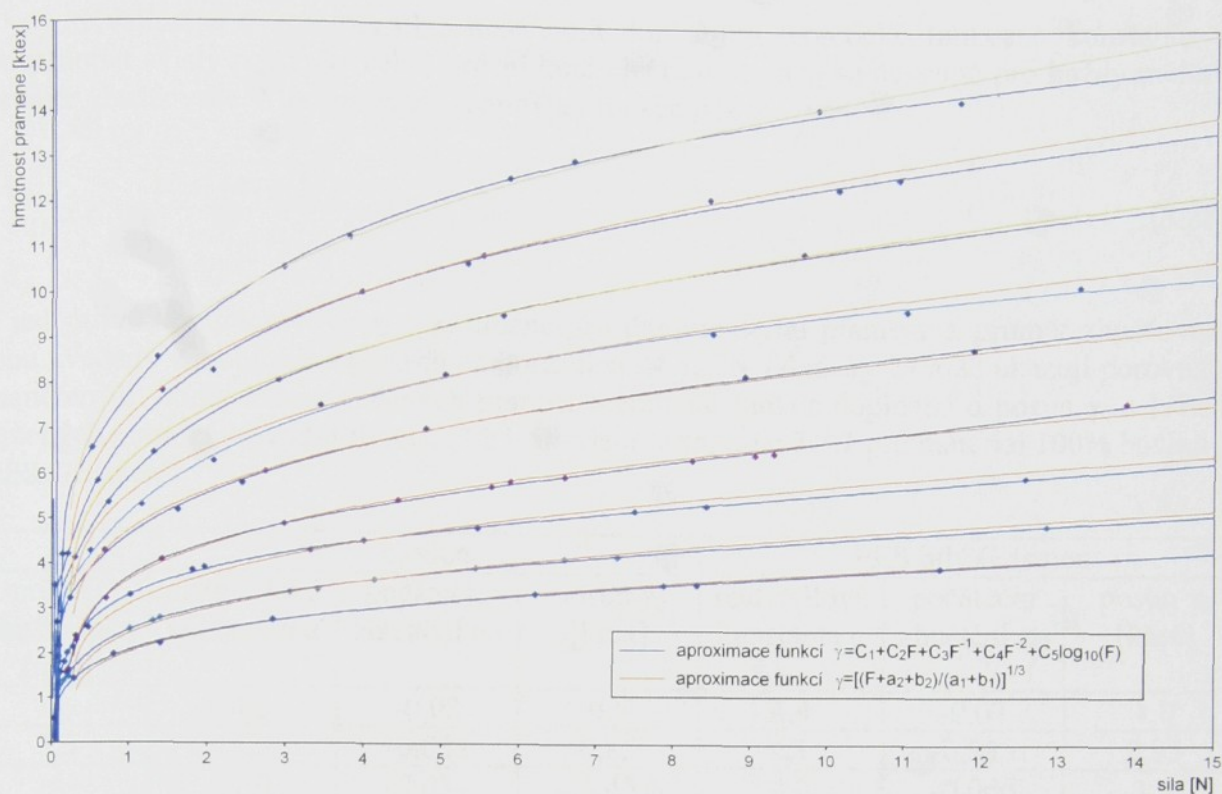
Jako průměr D_1 vstupu kuželové části byl uvažován přibližně střední průměr měřených pramenů 10 mm. Tento průměr se s hmotností pramene liší (vyšší hmotnost pramene znamená i větší průměr D_1), na tvar křivky má však tato změna zanedbatelný dopad vzhledem k malým tlakovým silám vyvolaným velmi malým stlačením pramene ve vstupní kuželové části zhušťovače.

Výstupní průměr zhušťovače D_0 [mm]	Úhel kužele θ [°]	Celková délka zhušťovače [mm]	Délka válcové části l [mm]
3	70	15.09	3.308
3.5	70	15.22	3.795
4	70	15.15	4.082
4.5	70	15.33	4.605
5	70	15.17	4.802
5.5	70	15.32	5.333
6	70	15.24	5.607
6.5	70	15.24	5.971
7	70	14.6	5.674

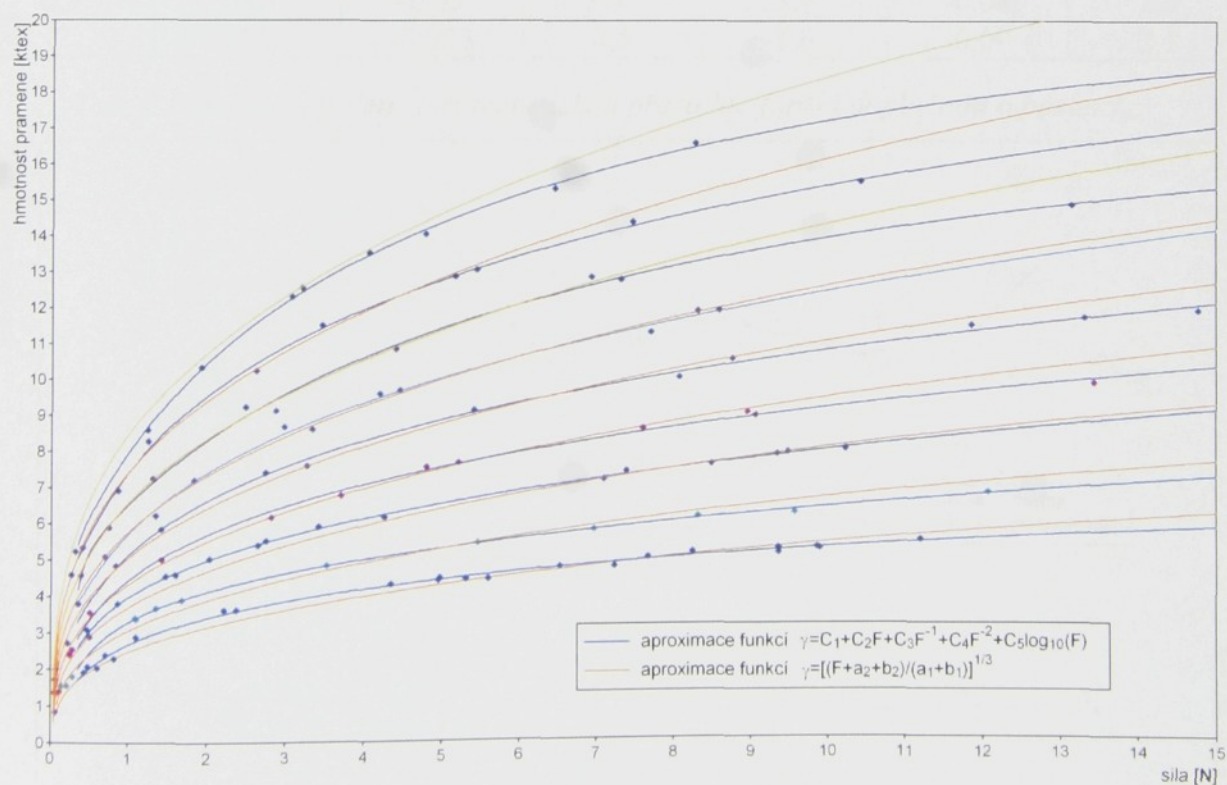
Tab.1 Rozměry trychtýřových zhušťovačů použitých k porovnání teoretických a měřených převodních funkcí.

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 . Pro bavlnu je v literatuře hustota vláken udávána 1,5 až 1,55 g/cm³, pro PES 1,38 až 1,4 g/cm³ [7], ve výpočtech teoretických funkcí byly použity hodnoty $\rho = 1,55$ g/cm³ pro bavlnu a $\rho = 1,4$ g/cm³ pro PES. Koeficient tření byl uvažován $\mu = 0,4$.

Nejprve byly naměřené body všech devíti 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 odchylují, a to zejména u větších průměrů zhušťovačů. To je způsobeno zejména množstvím zjednodušujících předpokladů, které byly uplatněny při návrhu teoretické funkce. Z grafů je také patrné, že pro větší průměry zhušťovačů by bylo vhodnější volit vyšší hodnotu počátečního zhuštění ω_0 . V grafech na obrázcích 22 a 23 je znázorněno porovnání naměřených bodů, křivek určených pomocí teoretické funkce a křivek určených pomocí převodní funkce (3.23) uvedené v kapitole 3.3.1 pro materiál 100% bavlna i PES Grisuten.



Obr.22 Porovnání kalibračních křivek s naměřenými body pro materiál pramene 100% bavlna mykaná. Oranžové jsou křivky pro teoretickou funkci s konstantními parametry, modré optimální převodní křivky podle vztahu (3.23).



Obr.23 Porovnání kalibračních křivek s naměřenými body pro materiál pramene PES bílý Grisuten mykaný. Oranžové jsou křivky pro teoretickou funkci s konstantními parametry, modré optimální převodní křivky podle vztahu (3.23).

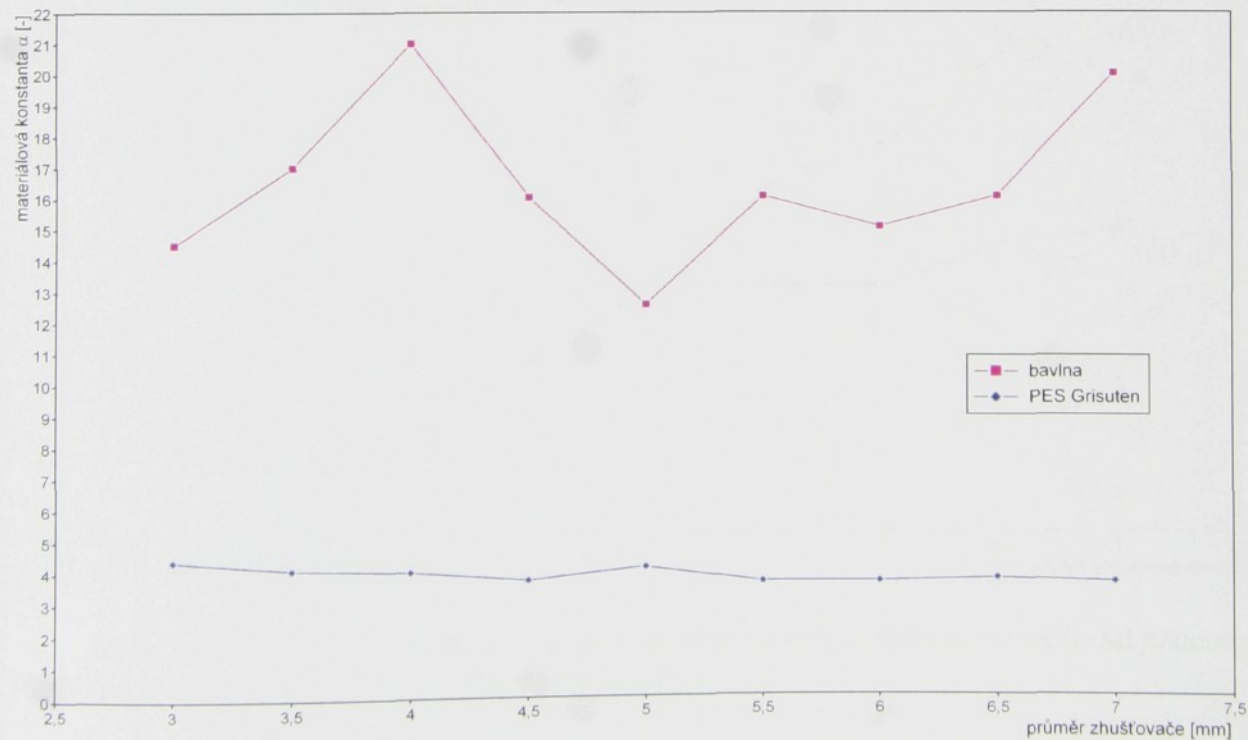
Kvalitnější aproximaci lze dosáhnout doplněním teoretické funkce o konstantu γ_0 umožňující svislý posun křivek a určení koeficientů α , ω_0 a γ_0 samostatně pro každý měřený průměr zhušťovače. Modifikovaná teoretická funkce pak má tvar

$$\gamma = \sqrt[3]{\frac{F + (a_2 + b_2)}{a_1 + b_1}} + \gamma_0 \tag{3.28}$$

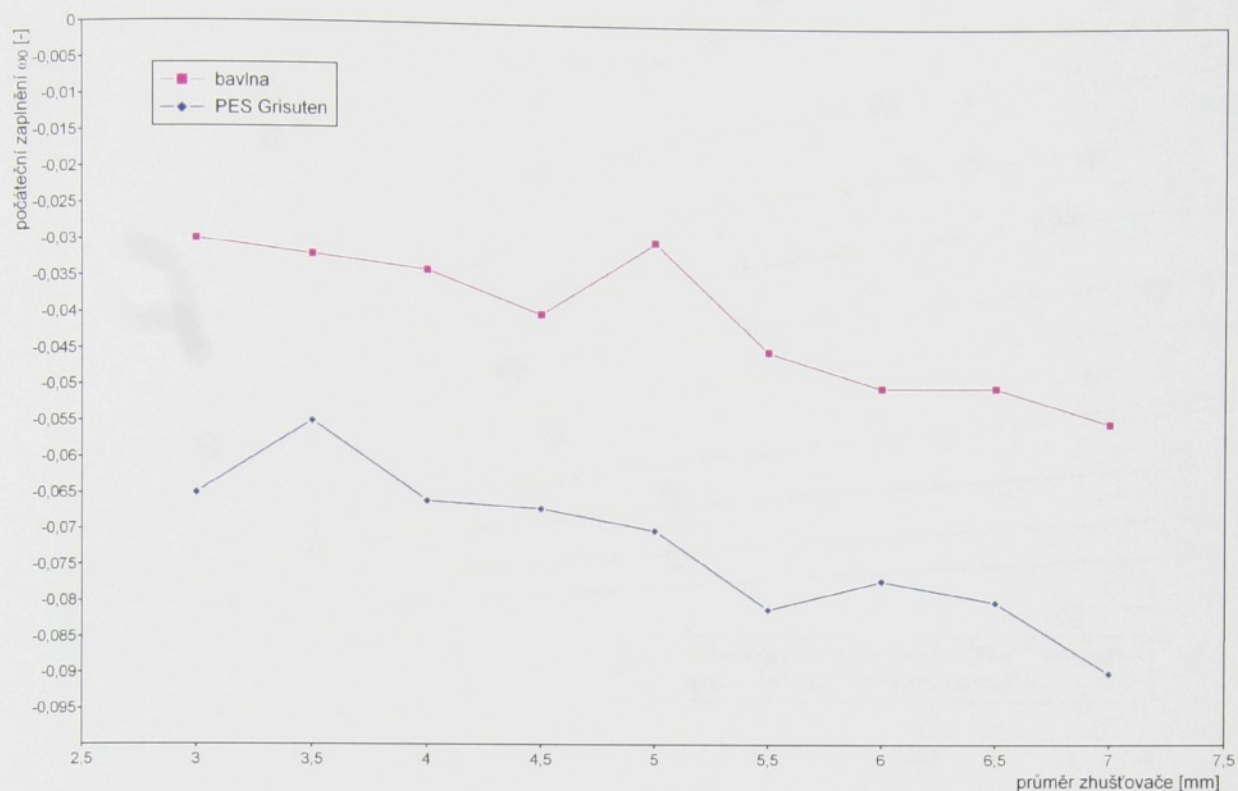
a jednotlivé koeficienty α , ω_0 a γ_0 určené pro daný materiál pramene a průměr zhušťovače jsou uvedeny v tabulce 2 a grafech na obrázcích 24 až 26. Obrázky 27 a 28 ukazují porovnání naměřených bodů, křivek určených pomocí teoretické funkce doplněné o posun γ_0 a křivek určených pomocí převodní funkce (3.23) uvedené v kapitole 3.3.1 pro materiál 100% bavlna i PES Grisuten.

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

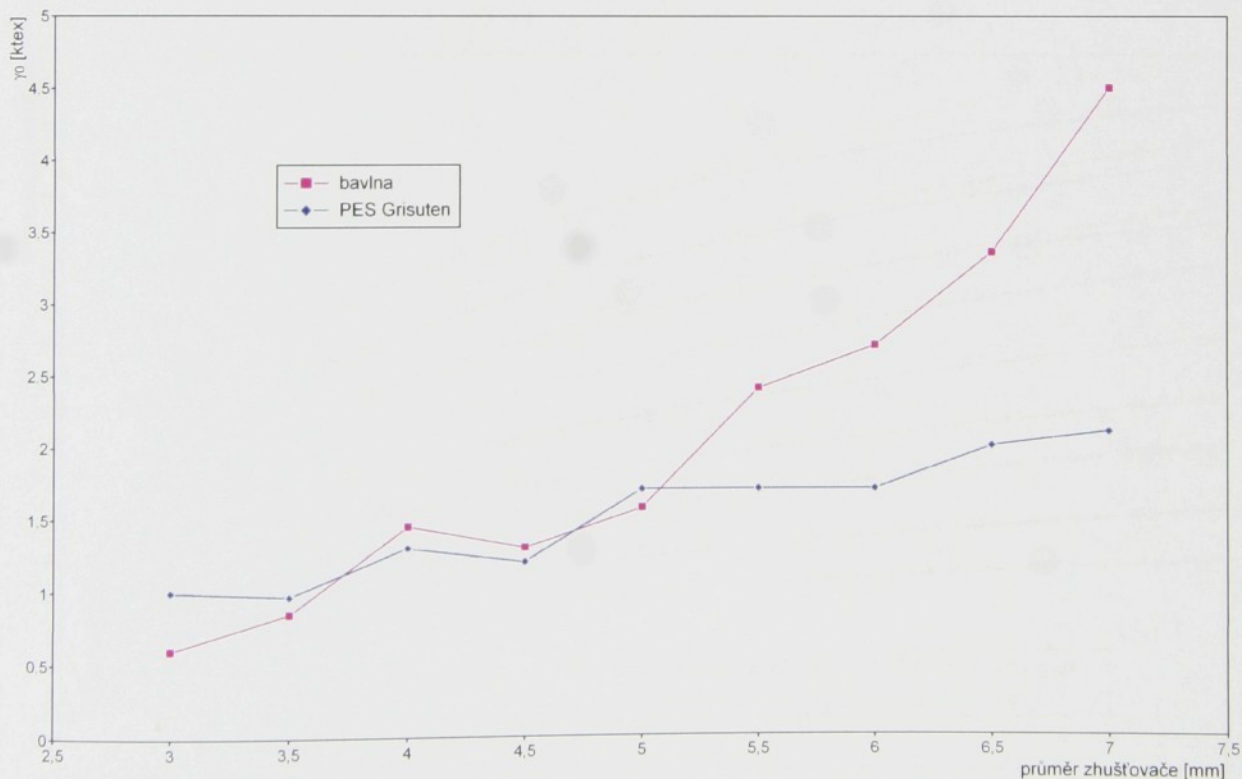
Tab. 2 Parametry určené pro teoretickou převodní funkci doplněnou o posun γ_0 .



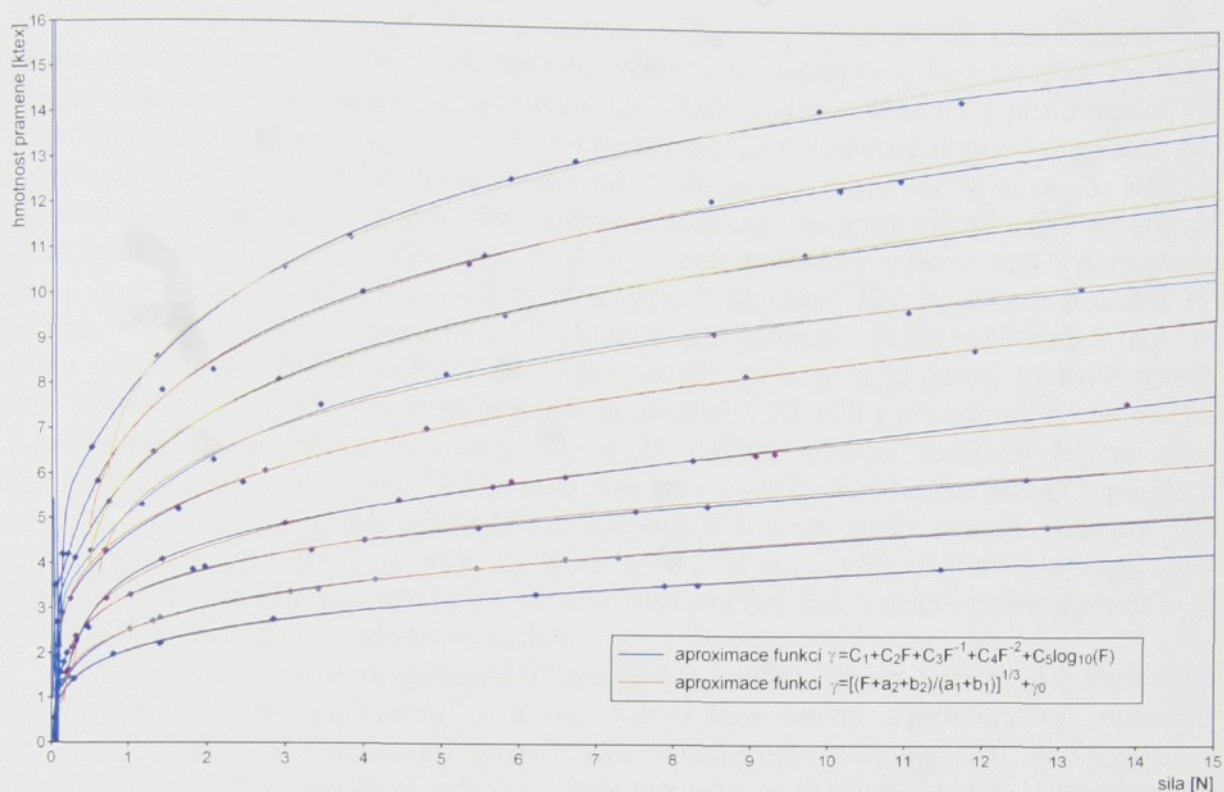
Obr.24 Hodnoty materiálové konstanty α určené pro různé průměry zhušťovačů a materiál pramene 100% bavlna (červené) a PES bílý Grisuten (modré).



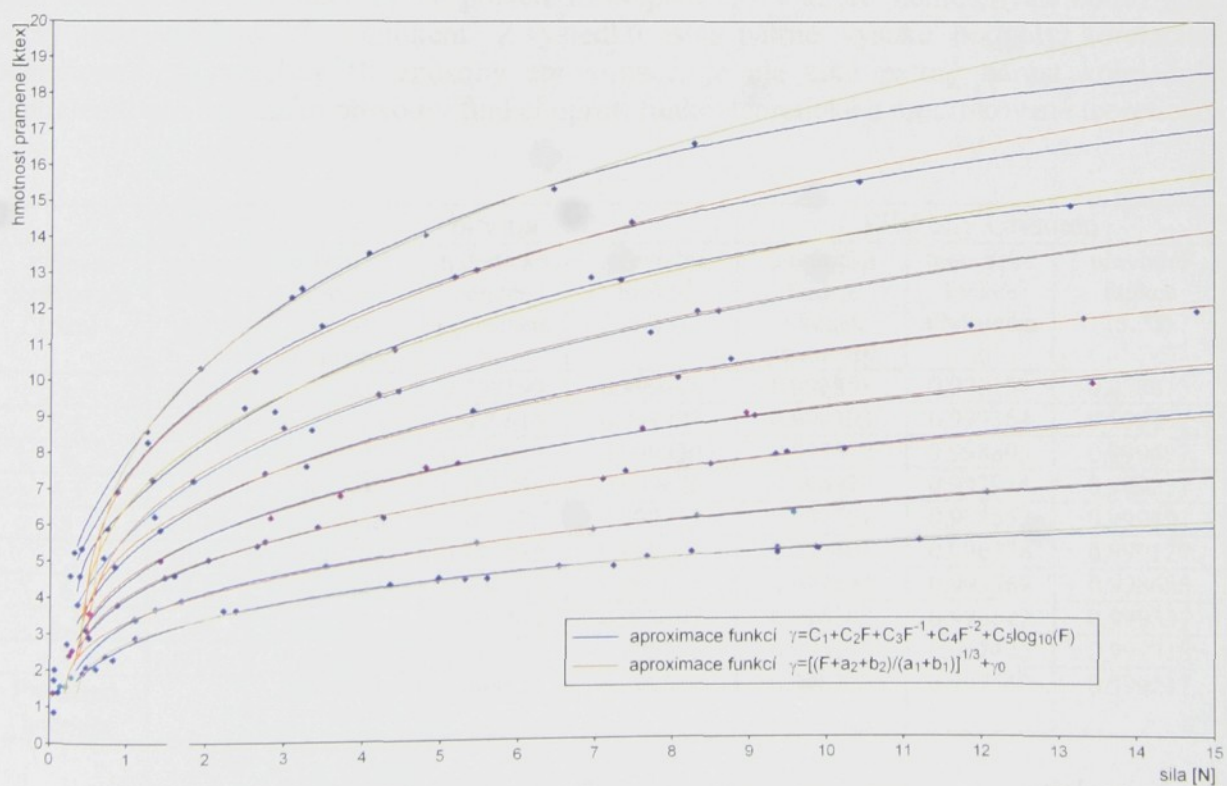
Obr.25 Hodnoty počátečního zhuštění ω_0 určené pro různé průměry zhušťovačů a materiál pramene 100% bavlna (červené) a PES bílý Grisuten (modré).



Obr.26 Hodnoty posunu γ_0 určené pro různé průměry zhušťovačů a materiál pramene 100% bavlna (červené) a PES bílý Grisuten (modré).



Obr.27 Porovnání kalibračních křivek s naměřenými body pro materiál pramene 100% bavlna mykaná. Oranžové jsou křivky pro teoretickou funkci doplněné o posun γ_0 , modré optimální převodní křivky podle vztahu (3.23).



Obr.28 Porovnání kalibračních křivek s naměřenými body pro materiál pramene PES bílý Grisuten mykaný. Oranžové jsou křivky pro teoretickou funkci doplněné o posun γ_0 , modré optimální převodní křivky podle vztahu (3.23).

Z grafů na obrázcích 24 až 26 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 [2]. 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. Porovnáním grafů na obrázcích 27 a 28 s původními aproximacemi s konstantními parametry na obrázcích 22 a 23 vidíme výrazné rozšíření pásma shody aproximační funkce s měřením. Stále však nelze tyto aproximační funkce použít v pásmu sil pod 2 N, kde se buď silně odklánějí od měřených hodnot, nebo nemají v daném bodě definovanou hodnotu (typicky pro síly pod 0,5 N). V praxi však měření v oblasti těchto malých sil nelze použít, protože nelze zaručit rovnoměrný tlak v celém průřezu zhušťovače a nelze zajistit reprodukovatelnost výsledků.

V tabulce 3 je uvedeno porovnání 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 (3.23). Počty bodů, ze kterých byl korelační koeficient vypočten, jsou uvedeny ve druhém sloupci. U prvních dvou funkcí musely být z výpočtu korelačních koeficientů vypuštěny body s odporovou silou nižší než 0,5 N, protože v nich nemá aproximační funkce definovanou hodnotu. Počty bodů použitých k výpočtu u těchto funkcí jsou uvedeny před lomítkem. Korelační koeficient pro optimální převodní funkci byl vypočten z kompletního souboru naměřených bodů, jejich počty jsou uvedeny za lomítkem. 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.

průměr zhušťovače [mm]	počet bodů	bavlna			PES bílý Grisuten		
		teoretická funkce s konst. parametry	teoretická funkce s posunem γ_0	převodní funkce (3.23)	teoretická funkce s konst. parametry	teoretická funkce s posunem γ_0	převodní funkce (3.23)
3	21/23	0,996033	0,999199	0,999676	0,992858	0,995157	0,998033
3,5	11/13	0,999619	0,999616	0,999728	0,998303	0,999364	0,999792
4	16/17	0,997249	0,997977	0,999530	0,997542	0,998895	0,999497
4,5	10/13	0,997953	0,997854	0,999620	0,996977	0,997914	0,999251
5	10/12	0,999086	0,999479	0,999752	0,997321	0,998552	0,999491
5,5	10/12	0,995202	0,997088	0,999582	0,997401	0,996358	0,999127
6	7/8	0,998641	0,999595	0,999914	0,994194	0,995569	0,998686
6,5	8/9	0,997227	0,998394	0,999407	0,996303	0,998622	0,999357
7	8/10	0,995347	0,997531	0,999766	0,995593	0,997425	0,999718
Průměrná hodnota		0,997373	0,998526	0,999664	0,996277	0,997540	0,999217

Tab.3 Hodnoty korelačních koeficientů pro aproximace teoretickou funkcí s konstantními parametry, pro funkci s proměnnými parametry doplněnou o posun γ_0 a pro optimální převodní funkci podle vztahu (3.23). Počty bodů použitých pro výpočet jsou uvedeny v druhém sloupci. Pro teoretické funkce jsou vypuštěny hodnoty se silou nižší než 0,5 N, protože v nich funkce nemá definovanou hodnotu (počet bodů před lomítkem).

3.4 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.

3.4.1 Vliv rychlosti průchodu pramene zhušťovačem

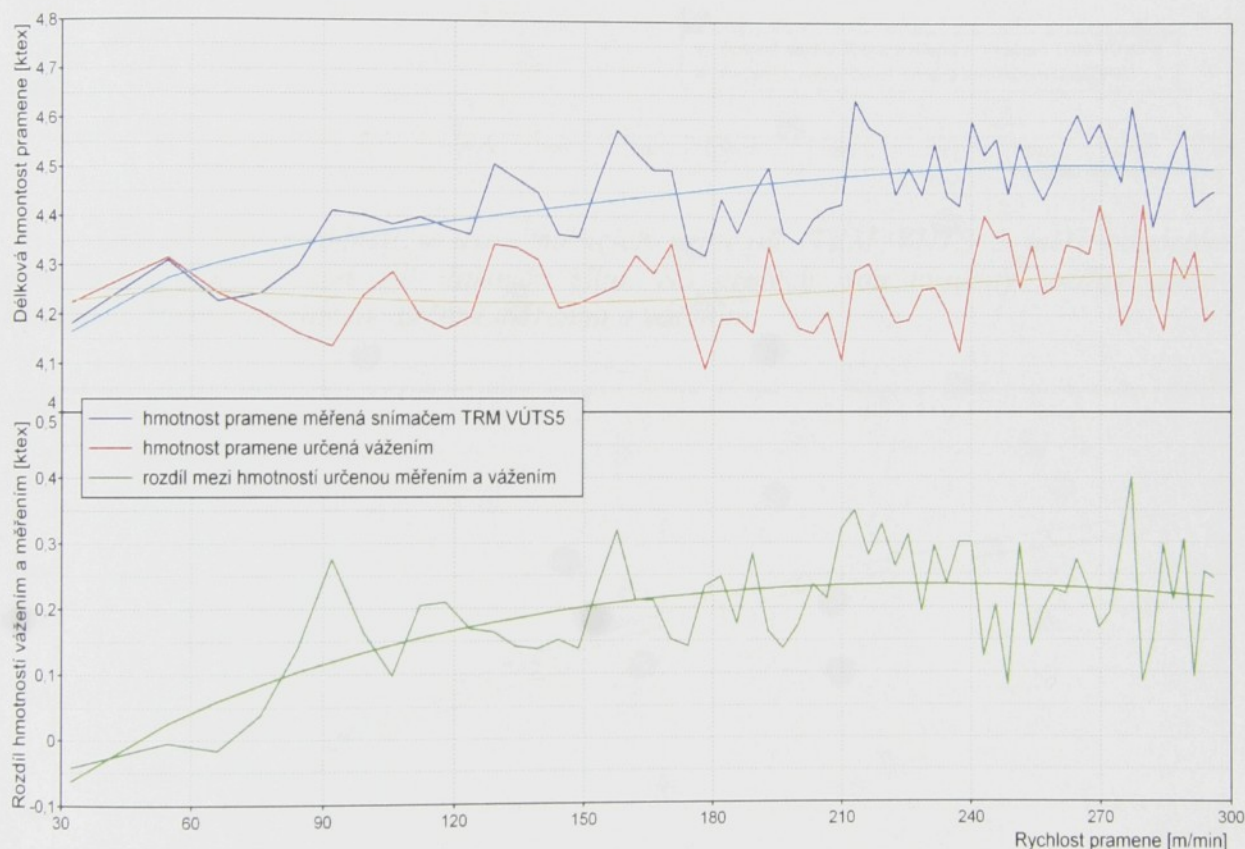
Tento vliv není v teoretických vztazích explicitně vyjádřen, vztahy jsou uvažovány jako statické. Lze uvažovat změnu dynamického koeficientu tření a také změnu vlastností pramene při stlačování, které jsou zahrnuty v konstantě α .

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. Pro ověřování tohoto vlivu sloužil měřicí stend se snímačem TRM VÚTS 5 a jedním párem odtahovacích válečků poháněných servomotorem s nastavitelnou rychlostí. Prověřován byl pramen 100% bavlna mykaná v rozsahu rychlostí 30 až 300 m/min. Vzorek byl plynule odebírán z konve při zvyšování odtahovací rychlosti po lineární rampě. K záznamu naměřených hodnot délkové hmotnosti byly přiřazeny skutečné hodnoty délkové hmotnosti určené vážením po úsecích délky 3 m a určen rozdíl. Dále byl měřen pramen 100% bavlna česaná nespojitě se vzorky v rozsahu délkových hmotností přibližně 3 až 7 ktex. Po průchodu snímačem byly ze změřených vzorků odebrány úseky délky 1 m směrem od konce vzorku (eliminoval se tak vliv špičky zaváděného vzorku a údaj lépe odpovídal kontinuálnímu chodu) a byly zváženy na laboratorních vahách. Z naměřeného průběhu odporové síly byla určena střední hodnota pro odpovídající úsek vzorku. Měření se provádělo v rozsahu rychlostí 19,35 m/min až 257 m/min. Stejně měření s tímto materiálem bylo pro srovnání provedeno pro snímač Uster FP (kapitola 2.2.1f), který pracuje na principu měření tlakových sil vyvolaných stlačením pramene v kalibrovaném otvoru. Dále bylo provedeno podrobnější proměření tvaru kalibrační křivky snímače TRM VÚTS 5 při třech protahovacích rychlostech, a to 57, 154 a 254 m/min. Vzorky byly zaváděny do snímače za plného běhu odtahovacích válečků, což zejména u rychlosti 254 m/min způsobovalo problémy u hmotnějších vzorků, kdy při vyšších odporových silách docházelo k přetrhům pramene. V praxi je zavádění pramene řešeno buď za klidu nebo pomaloběhu stroje a přechod na vyšší rychlosti rozběhovou rampou. Problém s protažením pramene vysokými rychlostmi tak nenastává. Z naměřených dat na obrázku 31 je patrný rozdíl průběhů v řádu jednotek procent, a to tak, že u vyšší rychlosti odpovídá stejná odporová síla nižší jemnosti pramene. Předpoklad, že tato odchylka je způsobena zejména větším protažením pramene na výstupu snímače při rychlejším průchodu zhušťovačem byl ověřován měřením. Úsek délky jeden metr byl vyznačen na pramenu ještě před vložením do snímače, po průchodu snímačem odstrižen podle značky a zvážen. Naměřené průběhy se skutečně posunuly tak, že prakticky splývají (viz obr.32). Z provedených měření lze dojít k závěru, že snímač při všech rychlostech průchodu pramene měřil správně hmotnost pramene před snímačem, při průchodu zhušťovačem však dojde v zóně mezi jeho výstupem a odtahovacími válečky k mírnému protažení pramene (nejvyšší odchylky pro rychlost 254 m/min činily cca 5 % od průběhu pro rychlost 57 m/min) a celá převodní křivka se posune. Míra protažení je závislá i na vzdálenosti odtahových válečků od ústí zhušťovače, minimální vzdálenost je dána možností

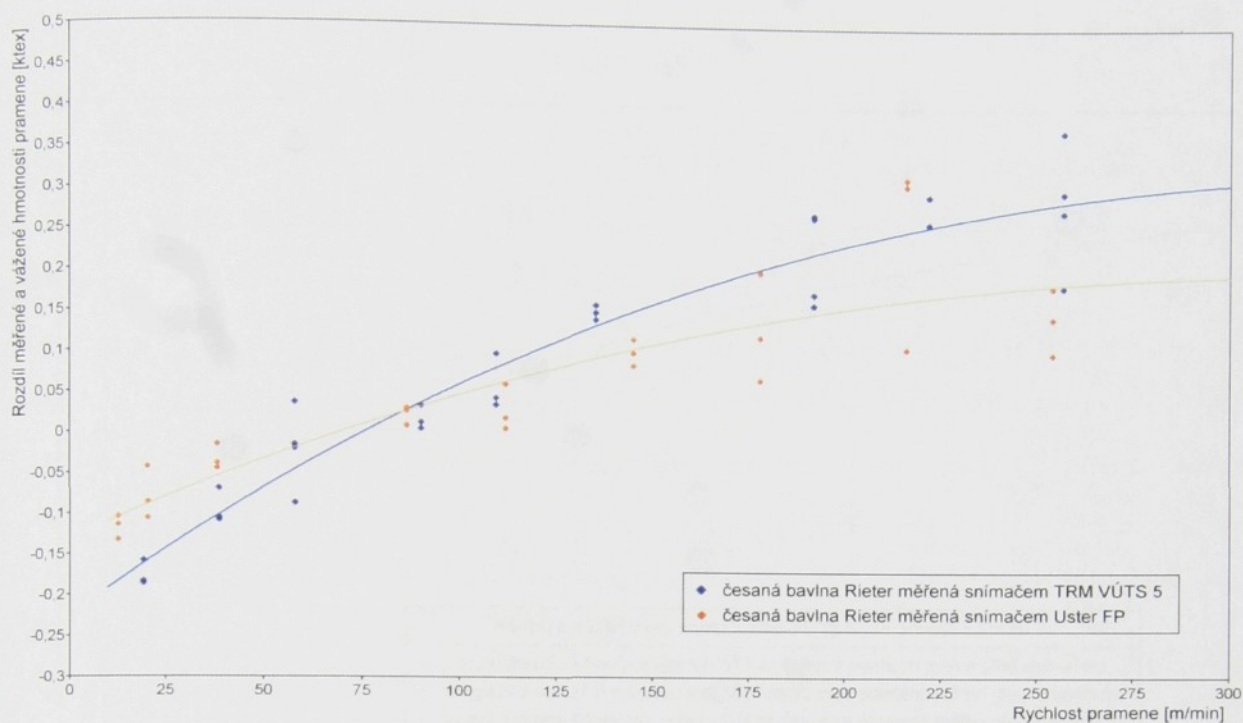
použití zhušťovače s největším otvorem (mezi ústím zhušťovače a povrchem odtahových válečků musí zůstat bezpečnostní mezera tak, aby se v žádném režimu nemohly dotknout). Je-li snímač použit pouze pro měření odchylek hmotnosti pramene, lze vliv rychlosti zanedbat. Pro určení absolutní hodnoty jemnosti 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.

Při porovnání vlivu rychlosti u mykaného a česaného pramene jsou patrné vyšší odchylky pro pramen česaný při stejném rozsahu rychlostí. To je způsobeno zejména vyšší mírou paralelizace vláken u česaného pramene, kdy nastává menší napřimování vláken v pramenu a dochází k většímu protažení pramene mezi zhušťovačem a odtahovými válečky.

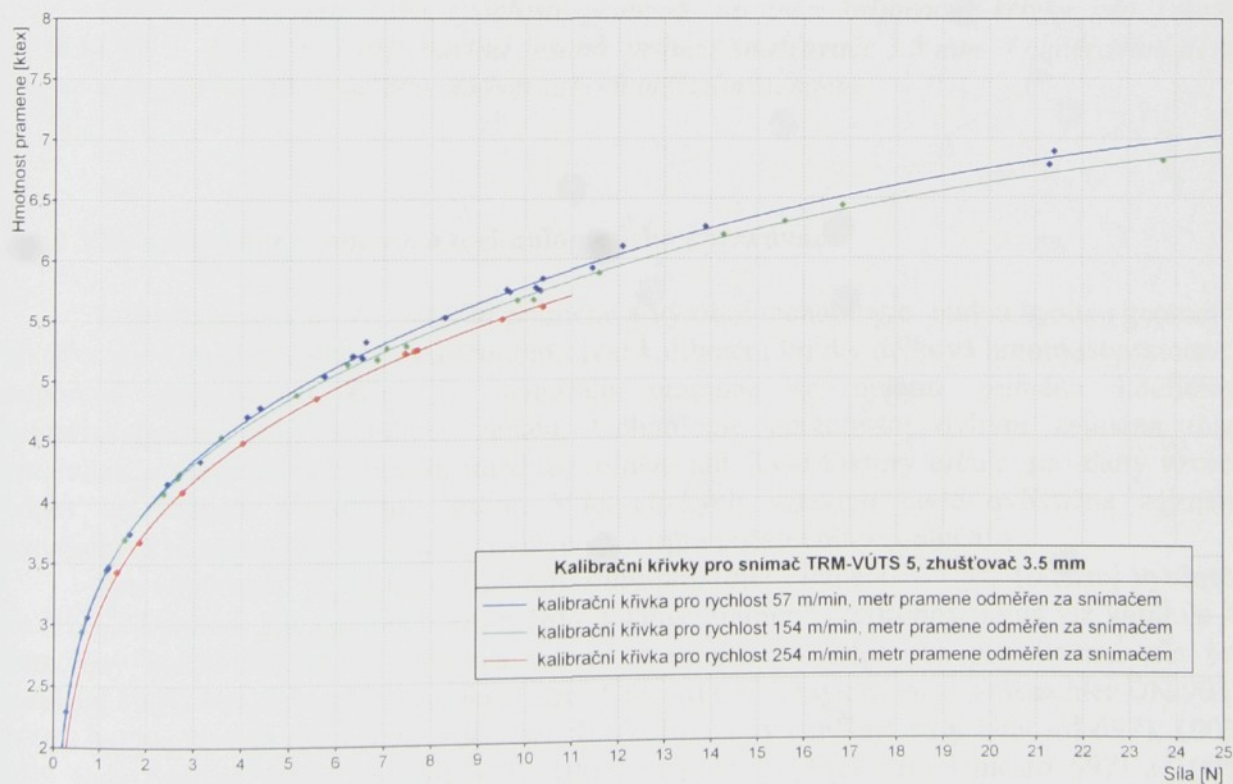
U vyvíjeného měřicího přístroje kvality pramenů založeného na principu odporové protahovací síly je rychlost pramenu konstantní a její vliv tedy eliminován.



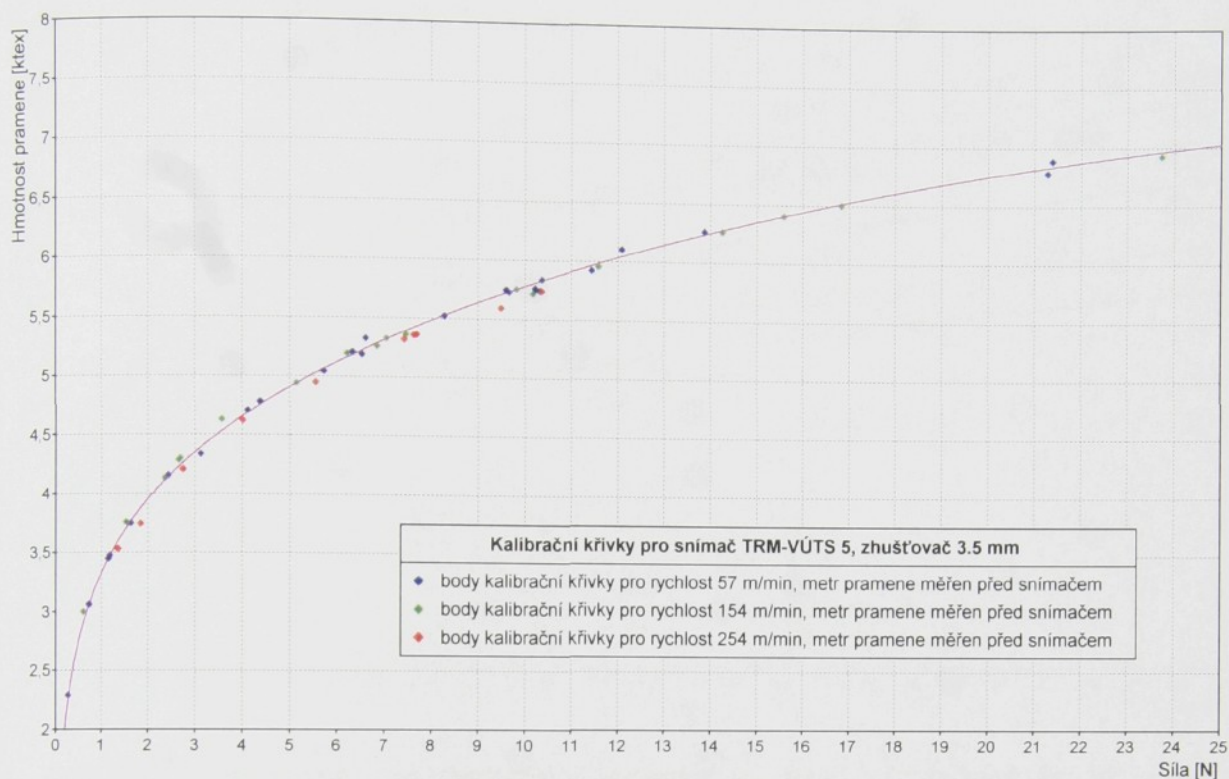
Obr.29 Vliv rychlosti na měřenou hodnotu délkové hmotnosti mykaného pramenu v porovnání se skutečnou hmotností zjišťovanou vážením úseků.



Obr.30 Vliv rychlosti u dvou měřicích principů (TRM VÚTS 5 měří odporovou protahovací sílu a Uster FP tlakovou sílu). Na grafech jsou uvedeny rozdíly délkové hmotnosti česaného pramene určené měřením a vážením.



Obr.31 Stanovení vlivu rychlosti pramene na tvar kalibrační křivky pro snímač TRM VÚTS 5. Materiál 100% bavlna česaná, průměr zhušťovače 3,5 mm. Odměrování délky pramene se provádělo po průchodu vzorků měřicím stendem.

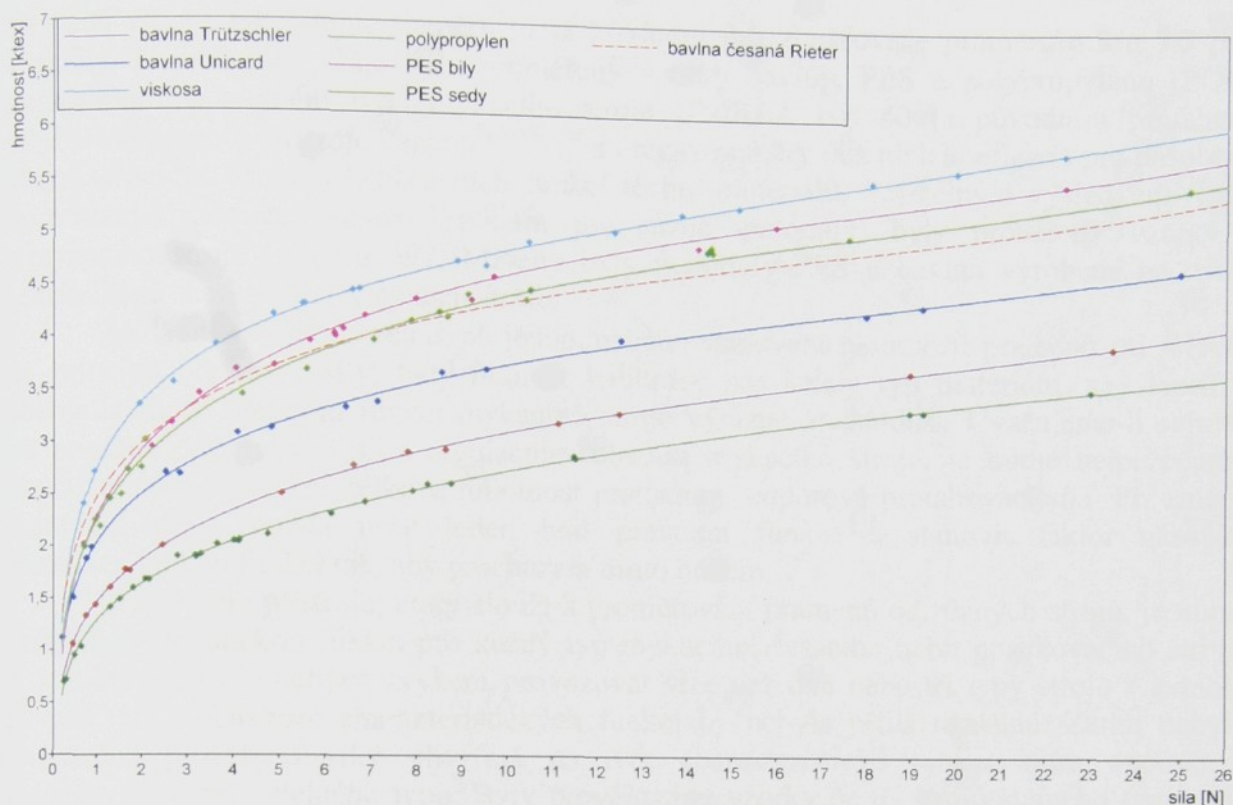


Obr.32 Stanovení vlivu rychlosti pramene na tvar kalibrační křivky pro snímač TRM VÚTS 5. Materiál 100% bavlna česaná, průměr zhušťovače 3,5 mm. Odměřování délky pramene se provádělo před průchodem vzorků měřicím stendem.

3.4.2 Vliv materiálu pramene a technologie jeho zpracování

Lze předpokládat, že materiál pramene a výrobní technologie budou spolu s geometrií zhušťovače hlavními faktory ovlivňujícími tvar kalibrační křivky délková hmotnost pramene - odporová protahovací síla. U materiálu pramene se uplatní zejména koeficient mezivláknenného 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, podrobný popis viz kapitola 4) naměřeny kalibrační křivky délková hmotnost pramene - odporová protahovací síla pro materiál 100% bavlna mykaná (mykací stroj Unicard 697 a mykací stroj Trützschler DK 903), 100% bavlna česaná (česací stroj Rieter), 100% PES bílý (mykací stroj Unicard 697), 100% PES šedý (mykací stroj Unicard 697), 100% viskosa (mykací stroj Unicard 697) a 100% polypropylen (mykací stroj UNIREA typ 40). Podrobnější údaje o proměřovaných pramenech jsou uvedeny v příloze P1.



Obr.33 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 (bavlna 1.5 až 1.55 g/cm³, viskosa 1.52 g/cm³, polypropylen 0.9 až 0.92 g/cm³, PES 1.38 g/cm³) [1], vidíme, že nelze najít přímou vazbu mezi měrnou hustotou (a tedy objemem) daného materiálu a velikostí odporové síly (např. PES vyvolá při stejné délkové hmotnosti nižší odporovou protahovací sílu než bavlna, přestože má menší měrnou hustotu vláken a tudíž vyšší objem, a to i při zpracování na stejném mykacím stroji, tj. s relativně stejným uspořádáním a ojednocením vláken).

Tvar křivky u pramene česaného je ovlivněn zejména výrazně vyšší mírou paralelizace a napřímení vláken v porovnání s mykanými prameny. Pramen je při nižší míře zaplnění snáze stlačován, což vede k vyvolání nižší odporové síly pro danou délkovou hmotnost (strmější nárůst křivky v úvodní části) a při přiblížení se k meznímu zaplnění otvoru zhušťovače malý nárůst hmotnosti pramene vyvolá strmý nárůst odporové protahovací síly.

Vypočteme-li poměry z naměřených křivek, zjistíme, že pro různé materiály zpracované stejným mykacím strojem lze považovat poměr pro vyšší protahovací síly (cca od 5 N 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 mykacím stroji UNIREA typ 40 s průtažným ústrojím VÚTS, kde lze vysledovat konstantní poměr mezi naměřenými křivkami pro bavlnu, PES a viskosu již od

síly 3 N výše a také stejné poměry mezi křivkami pro zhušťovače průměrů 6.5 a 7.5 pro všechny tři materiály. Dále byly proměřeny vzorky bavlny, PES a polypropylenu (POP) zpracované na stejném typu mykacího stroje UNIREA typ 40 (s původním průtahem UNIREA) pomocí přístroje Papeon^{SliverTester} a určeny poměry (a z nich koeficient pro násobení charakteristické funkce) kalibračních funkcí těchto materiálů. Se stejným výsledkem (tedy konstantním poměrem mezi křivkami pro různé materiály) byly prověřeny vzorky i z mykacího stroje Unicard 697. Měřeny byly materiály PES a bavlna vyrobené na dvou konstrukčně shodných prototypch stroje.

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 postačí určit jeden bod převodní funkce a stanovit faktor násobící charakteristickou funkci tak, aby procházela tímto bodem.

U měřicího přístroje, který slouží k proměřování pramenů od různých strojů, je nutné určit charakteristickou funkci pro každý typ mykacího, česacího nebo posukovacího stroje. V textilní praxi ale nebývá zvykem provozovat více než dva nebo tři typy strojů v jednom závodě, takže databáze charakteristických funkcí by nebyla příliš rozsáhlá. Zatím nebylo dostatečně prověřeno jaký vliv má na tvar charakteristické funkce míra opotřebení jednotlivých strojů stejného typu. Byly prověřovány vzorky ze tří strojů stejného typu, kde žádný rozdíl ve tvaru kalibrační křivky patrný nebyl, nebyl však znám přesný technický stav těchto strojů.

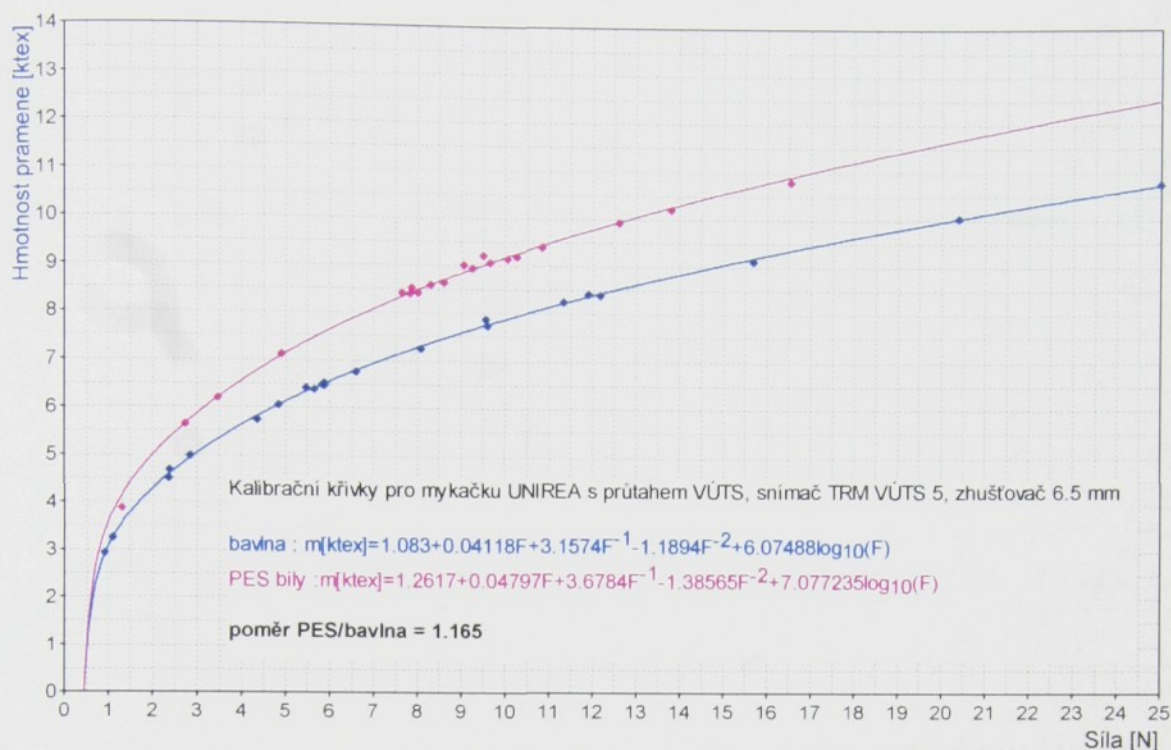
Na základě výše uvedených zjištění lze převodní funkci délková hmotnost pramene – odporová protahovací síla upravit do tvaru

$$\gamma = K_6 (K_1 + K_2 F + K_3 F^2 + K_4 F^3 + K_5 \log_{10}(F)) \quad (3.30)$$

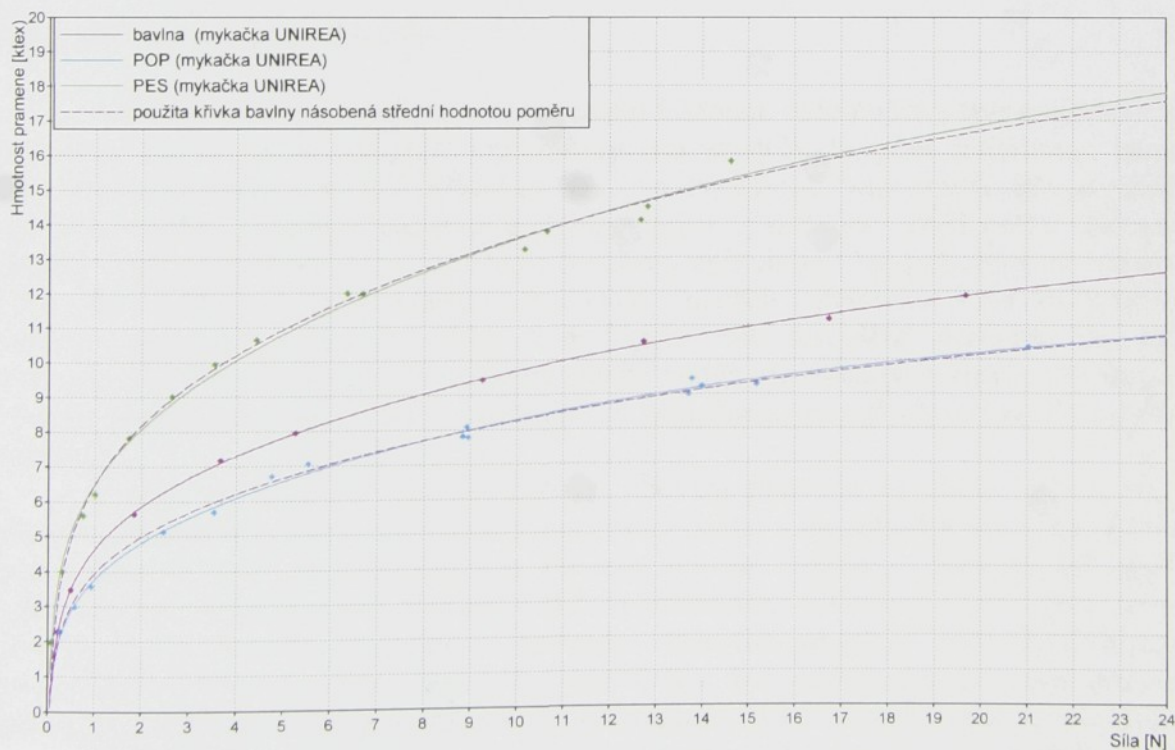
nebo

$$\gamma = C_6 (C_1 + C_2 F + C_3 F^{-1} + C_4 F^{-2} + C_5 \log_{10}(F)), \quad (3.31)$$

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



Obr.34 Kalibrační křivky pro dva materiály pramene (bavlna a PES bílý) zpracované na stejném mykacím stroji. Použitý snímač a zhušťovač byly stejné. V legendě v obrázku jsou uvedeny převodní funkce pro oba materiály a jejich poměr.



Obr.35 Kalibrační křivky pro tři materiály pramene (bavlna, PES a polypropylen POP) zpracované na stejném mykacím stroji. Použitý snímač a zhušťovač byly stejné. Čárkovaně jsou naznačeny křivky vzniklé násobením křivky pro bavlnu konstantou určenou z poměru původních aproximačních funkcí.



Obr.36 Průběhy vzájemných poměrů aproximačních funkcí pro tři materiály pramene podle obr. 35. Střední hodnota úseků odpovídajících odporové síle 5 až 10 N byla použita pro přepočet funkcí z výchozí křivky pro bavlnu.

3.4.3 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. Při návrhu tvaru zhušťovače je nutné volit optimální poměr rozměrů vzhledem k požadovaným výsledkům. Větší délka válcové části přináší vyšší odporovou sílu a tedy lepší rozlišení, způsobuje však průměrování signálu přes větší délku a tedy ztrátu informace o krátkých změnách v pramenu. Také malý úhel části kuželové zvyšuje odporovou sílu, komplikuje však zavádění pramene do snímače a u mykacího stroje i stahování pavučiny (tenká vrstva ojednocených vláken šíře cca 1 m na výstupu mykacího stroje, která je stažením do průtažného ústrojí převedena na pramen) do snímače.

Prvotní myšlenkou bylo nasimulovat chování pramene ve zhušťovači a vliv jeho rozměrů pomocí speciálního software Fluent pro výpočet a modelování proudění. Základním problémem se však ukázala složitost modelu chování vláken a pramene při stlačování a protahování. Modelováním chování vláken a vlákenných útvarů se zabývá řada odborníků desítky let a modely dostupné v literatuře zpravidla obsahují řadu zjednodušujících předpokladů. Připočteme-li k tomu další zjednodušení dané neznámým chováním pramene při průchodu zhušťovačem a jeho případným nahrazením látkou s podobnými vlastnostmi, jejíž popis je znám, dojdeme k závěru, že míra nepřesnosti modelu by překročila přínos výsledků a proto bylo od tohoto záměru upuštěno a chování prověřováno pouze experimentálně.

Vycházíme-li ze standardní řady zhušťovačů používaných pro snímač TRM VÚTS 5 s úhlem vstupní kuželové části 70° optimálním pro zavádění pramene i jeho zhušťování z pavučiny a pevnou délkou danou umístěním snímače vůči odtahovým válcům ($\pm$ výrobní

tolerance), lze uvažovat vazbu mezi průměrem válcové části a jeho délkou, tj. pro větší otvor zhušťovače je také větší délka válcové části.

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 popsaných 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.

První série měření byla prováděna na přístroji Papeon^{SliverTester} (viz kapitola 4) pro materiály 100% bavlna mykaná (mykací stroj Trützschler DK903) a 100% PES bílý mykaný (mykací stroj UNICARD 697). Použity byly zhušťovače o průměrech 3.25, 3.6, 4.15, 4.5, 4.9, 5.5 a 6.5 mm. Zhušťovače 3.6 a 4.15 mm byly duralové a s větší celkovou délkou. Otvory zhušťovačů jsou vyrobeny s výrobní tolerancí $\pm 0,025$ mm. Pro každý zhušťovač byly naměřeny body kalibrační funkce délková hmotnost pramene – odporová protahovací síla ve výrazně širším rozsahu, než je uvažovaný pracovní rozsah (pracovní rozsah je 3 až 10 N, pro kalibraci měřeno 0,1 N až 20 N). Naměřené body byly proloženy aproximačními funkcemi a poměrem těchto funkcí získány poměrové konstanty pro jednotlivé zhušťovače. Z teoretických vztahů pro statickou odporovou protahovací sílu byly vypočteny poměry teoretické dané změnou rozměrů zhušťovače (ostatní faktory, tj. hustota vláken, třecí koeficient atd. jsou uvažovány konstantní a ve výpočtu poměrů nemají vliv). Výsledné poměry kalibračních křivek jsou zobrazeny na obr. 37. Druhá série měření se prováděla s řadou zhušťovačů o průměrech 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7 mm pocházející z jedné výrobní série, tím tedy odpadá vliv materiálu a povrchové úpravy (drsnosti) zhušťovače. Proměřovány byly 100% bavlna mykaná a 100% PES bílý Grisuten z mykacího stroje UNIREA typ 40 s nově vyvíjeným průtažným ústrojím VÚTS. Měření byla provedena během 48 hodin, materiál byl předtím uložen v konvi více než dva týdny. Lze tedy předpokládat že materiál byl ustálen a odpadá vliv změny vlhkosti materiálu i okolí, vliv teploty a regenerace materiálu. Opět byly vypočteny teoretické průběhy a jejich poměry. Pro možnost názorného porovnání byly všechny poměry vztaženy ke zhušťovači průměru 3 mm (v měřených křivkách k naměřenému průběhu pro zhušťovač 3 mm, u teoretických průběhů k teoretické křivce zhušťovače 3 mm). Výsledky jsou zobrazeny na obr. 38. Z vynesných závislostí v grafech je patrné, že poměry mezi kalibračními funkcemi pro jednotlivé průměry zhušťovačů jsou velice podobné pro různé proměřované materiály a do průměru zhušťovače 4.5 mm velice dobře odpovídají i teoretickým poměrům. Pro materiál bavlna 100% z mykacího stroje UNIREA typ 40 je patrný skokový odklon od teoretického průběhu pro zhušťovače od průměru 5 mm výše. Zdůvodnění tohoto jevu zatím nebylo přesně specifikováno, nestandardní chování v oblasti kde délka válcové části zhušťovače odpovídá jeho průměru se však ukazovalo i při dalších měřeních zejména pro materiál 100% bavlna mykaná. U ostatních materiálů tento odklon není patrný a křivka velice dobře odpovídá teoretické závislosti.

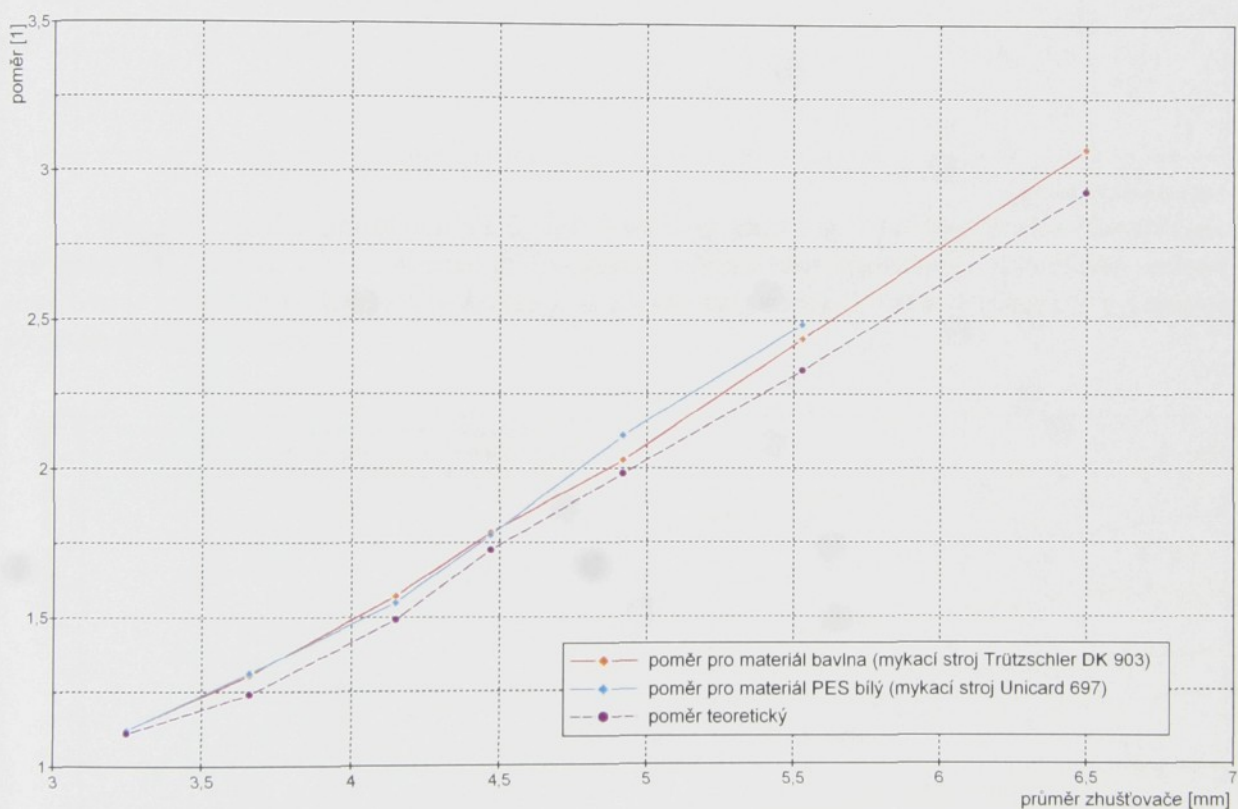
Pro danou sadu zhušťovačů je možné převodní funkci délková hmotnost pramene – odporová protahovací síla upravit do tvaru

$$\gamma = K_6 \cdot K_7 (K_1 + K_2 F + K_3 F^2 + K_4 F^3 + K_5 \log_{10}(F)) \quad (3.32)$$

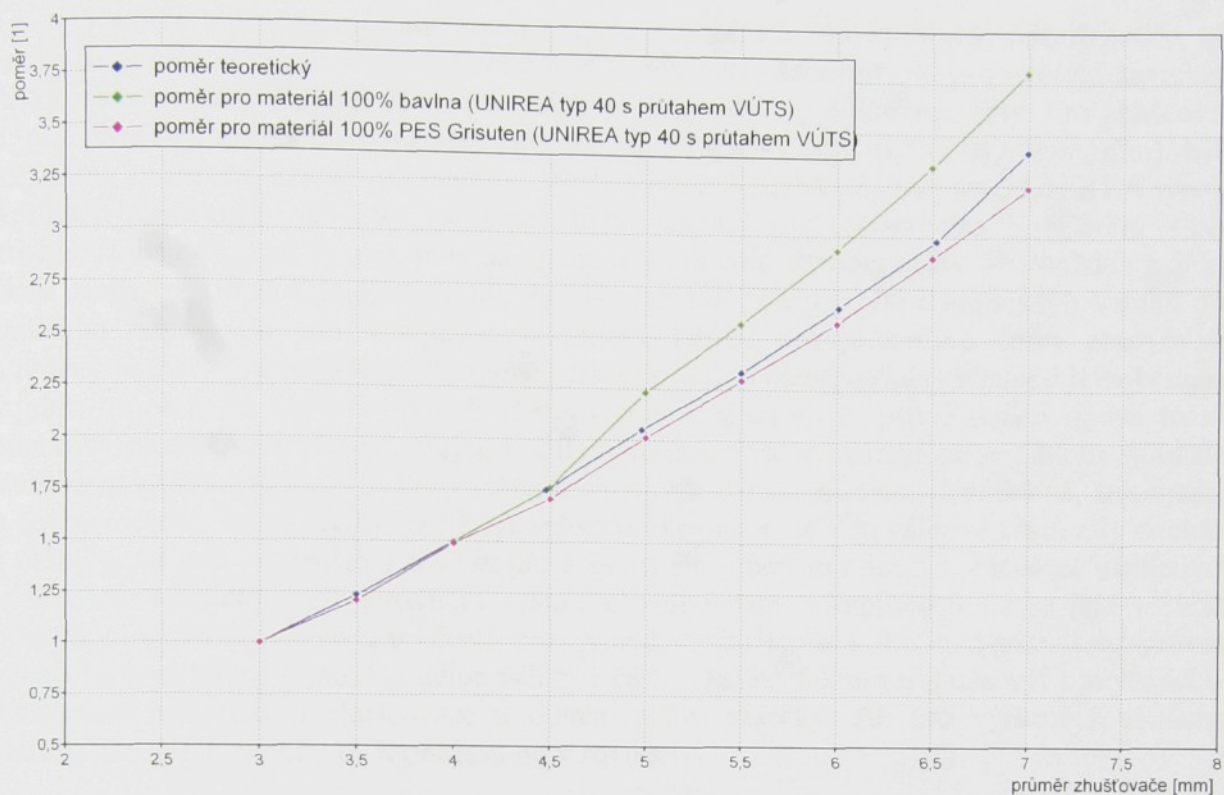
nebo

$$\gamma = C_6 \cdot C_7 (C_1 + C_2 F + C_3 F^{-1} + C_4 F^{-2} + C_5 \log_{10}(F)), \quad (3.33)$$

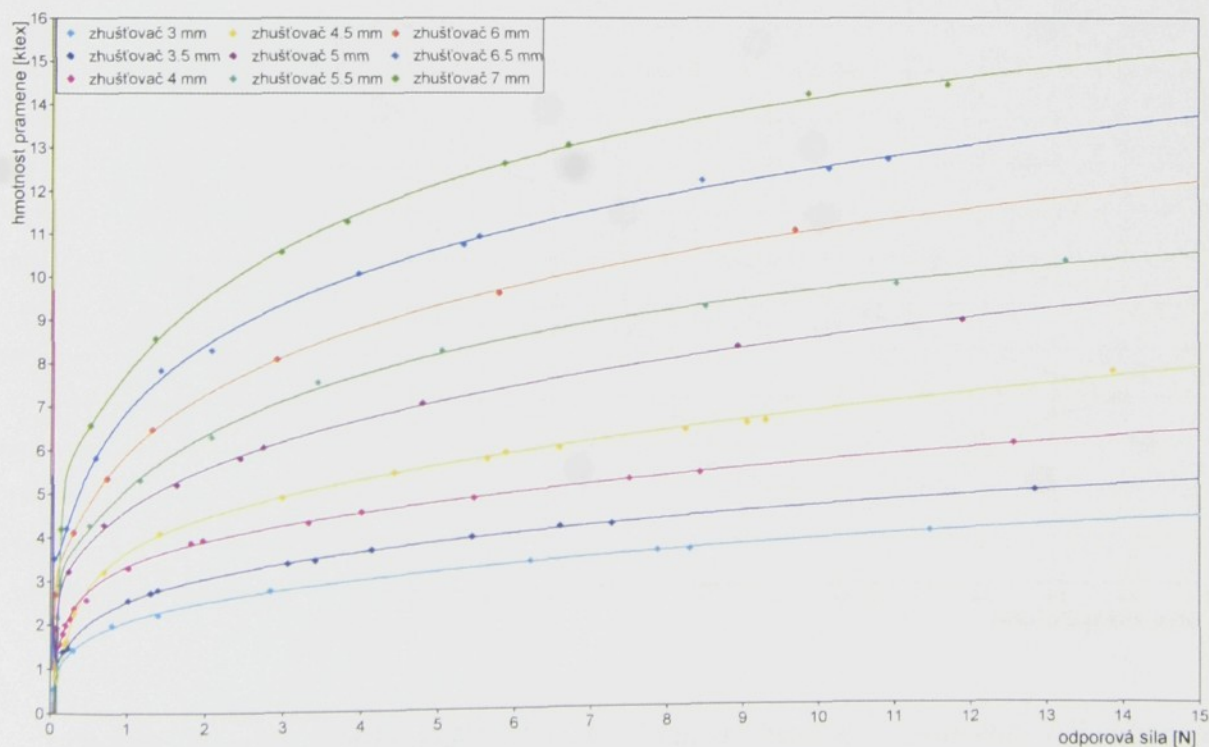
kde K_1 až K_5 , C_1 až C_5 ... konstanty charakteristické funkce mykacího stroje
 K_6 , C_6 konstanta konkrétního materiálu pramene
 K_7 , C_7 konstanta konkrétního zhušťovače (dána geometrickými rozměry)



Obr.37 Poměry kalibračních křivek hmotnost pramene - odporová síla (naměřených pro materiály bavlna a PES bílý a získaných teoretickým výpočtem) pro různé průměry zhušťovače vztažené ke kalibrační křivce pro zhušťovač průměru 3 mm a vynesené v závislosti na průměru zhušťovače.

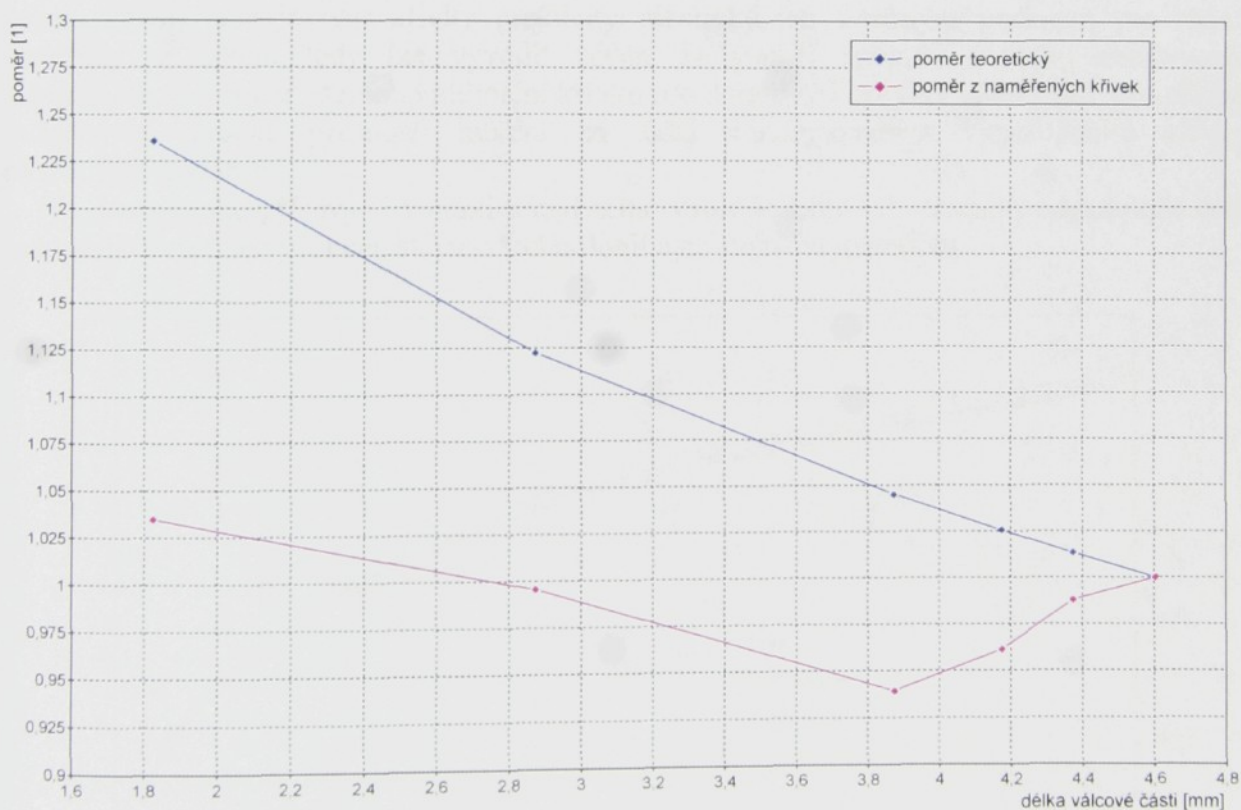


Obr.38 Poměry kalibračních křivek hmotnost pramene - odporová síla (naměřených pro materiál bavlna, PES Grisuten a získaných teoretickým výpočtem) pro různé průměry zhušťovače vztahované ke kalibrační křivce pro zhušťovač průměru 3 mm a vynesené v závislosti na průměru zhušťovače.



Obr.39 Ukázka jedné sady kalibračních křivek hmotnost pramene - odporová síla naměřené pro materiál pramene 100% bavlna (mykací stroj UNIREA typ 40 s průtahem VÚTS) a pro řadu zhušťovačů průměru 3 až 7 mm. Poměry jednotlivých křivek vzhledem ke křivce pro zhušťovač průměru 3 mm jsou zobrazeny v grafech na obrázcích 37 a 38.

Protože v předchozích měřeních nehraje roli pouze změna průměru zhušťovače, ale také s tím spojená změna délky válcové části, bylo provedeno měření pro ověření závislosti délky válcové části zhušťovače na velikost odporové protahovací síly. Pro zhušťovač o průměru 4.5 mm s původní délkou 15.33 mm (délka válcové části 4.605 mm) byla naměřena kalibrační křivka pro materiál 100% bavlna mykaná (mykací stroj UNIREA typ 40 s průtažným ústrojím VUTS). Následně byla válcová část zkracována broušením v pěti krocích až na délku 1.825 mm, tedy na méně než polovinu výchozí délky. Pro každou z délek zhušťovače byla opět naměřena kalibrační křivka. Dále byly podle teoretických vztahů pro statickou odporovou sílu vypočteny teoretické křivky pro jednotlivé délky zhušťovače a určeny poměry těchto křivek. Porovnání teoretických a naměřených závislostí je zobrazeno v grafu na obrázku 40. Při prvních zkracováních docházelo k opačné reakci oproti teorii, odporová protahovací síla pro stejnou délkovou hmotnost se zkracující se délkou stoupala. Vzhledem k tomu, že jde o tři body ležící prakticky v přímce je nepravděpodobné, že se jedná o chybu měření. Tento jev by mohl být způsoben kritickou délkou válcové části, kdy dochází k průniku vstupní deformační a výstupní regenerační zóny pramene. I z měření uvedených výše v této kapitole a při porovnání s teoretickými vztahy v kapitole 3.3.2 se jeví největší odchylky od teoretických závislostí pro průměry zhušťovačů 4,5 a 5 mm, kdy průměr zhušťovače přibližně odpovídá délce válcové části. Dalším faktorem může být i zvyšující se vzdálenost mezi ústím zhušťovače a odtahovacími válečky. Až pro výraznější zkrácení zhušťovače dochází opravdu k poklesu odporové síly.



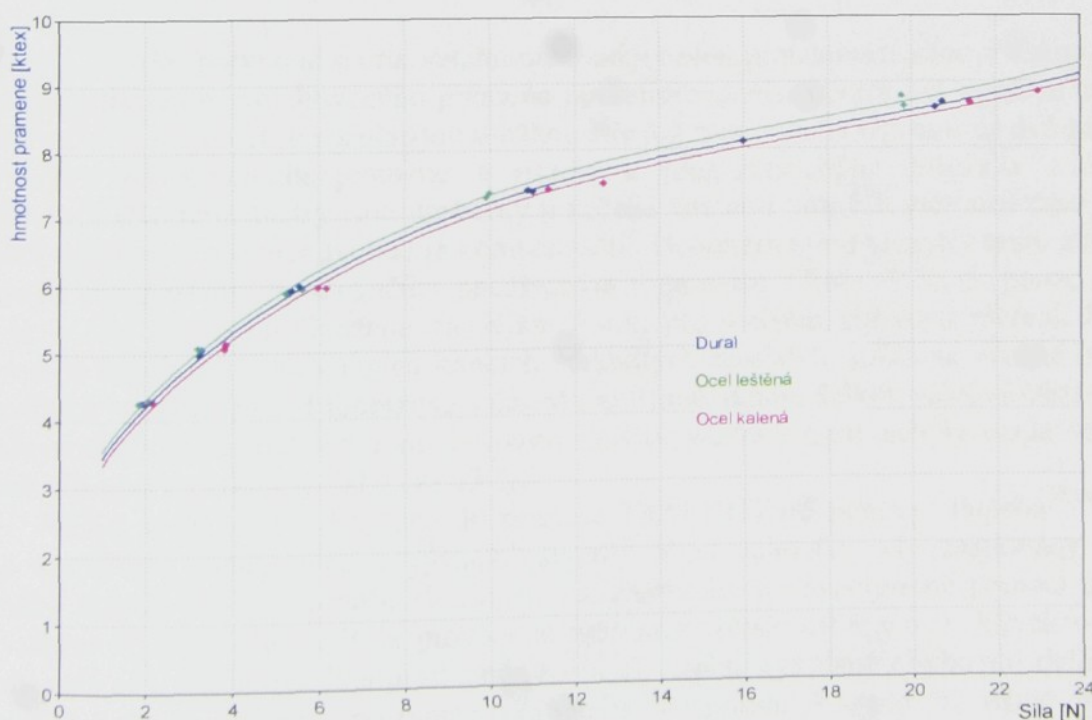
Obr.40 Poměry kalibračních křivek délková hmotnost pramene – odporová protahovací síla (naměřených pro materiál 100% bavlna a získaných teoretickým výpočtem) pro různé délky válcové části zhušťovače průměru 4.5 mm vztahované k původní délce zhušťovače a vynesené v závislosti na délce válcové části.

3.4.4 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 (3.26) a (3.27). 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 stoji a potencionální možnosti nahrazení za trvanlivější ocelový zhušťovač. Navržen byl tenkostěnný ocelový kalený zhušťovač, který má při zachování stejné geometrie vnitřních ploch hmotnost srovnatelnou s duralovým a nezhorší tak vlastní frekvenci snímače. Jeho odolnost proti otěru (a tedy změně průměru kalibrovaného otvoru) a změně drsnosti povrchu dodatečným vyleštěním od procházejícího pramene je podstatně vyšší. Otázkou tedy zůstávala možnost využití stávajících kalibračních křivek pro duralový zhušťovač. Pro porovnání vlivu materiálu zhušťovače (tedy zejména různého koeficientu tření) 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. Měření byla provedena pro pramen bavlněný mykaný v rozsahu jemností 4.5 až 8.5 ktex, což je pásmo širší než předpokládaný pracovní rozsah zhušťovače daného průměru. 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.41 Porovnání kalibračních křivek délková hmotnost pramene - odporová protahovací síla pro tři různé materiály zhušťovače.

3.4.5 Vliv vlhkosti pramene

Vliv vlhkosti pramene na tvar převodní křivky lze rozdělit na několik faktorů. Prvním je určitě nárůst délkové hmotnosti pramene se zvýšenou vlhkostí materiálu díky většímu objemu vody absorbovanému v prameni. Dalším faktorem je změna mechanických vlastností vláken, tedy zejména jejich tuhosti a koeficientu tření mezivláknenného i mezi vláknem a zhušťovačem.

Vliv vlhkosti se komplexněji neprověřoval, protože nebyla k dispozici vhodná klimatizační komora. Jedním z příkladů napovídajících možné chování bylo měření na prameni 100% bavlna mykaná vyrobeném za standardní vlhkosti cca 50 %, kdy byla určena převodní křivka standardním postupem pomocí měření odporové síly a vážení metrových úseků. Střední délková hmotnost pramene byla 4,7 ktex. Tento pramen byl uskladněn po dobu několika letních měsíců v prosklené hale v konvi, kde došlo ke snížení jeho vlhkosti. Při měření přístrojem Papeon^{SliverTester} stále vykazoval hmotnost 4,7 ktex odpovídající stavu při kalibraci, vážením ale klesla jeho skutečná střední délková hmotnost na 4,2 ktex. Je tedy pravděpodobné, že objem absorbované vody je podstatnějším faktorem než změna mechanických vlastností vláken. Odporová protahovací síla je při stejném počtu vláken v objemu vyvolána stejná nezávisle na vlhkosti, tj. podstatnější vliv na tvar kalibrační křivky mají počet a uspořádání vláken oproti tuhosti a koeficientu tření měnících se s vlhkostí. Je otázkou co je podstatnějším údajem pro hodnocení pramenů, jestli hmotnost ovlivněná momentální vlhkostí (zjistitelná vážením), nebo počet vláken v průřezu, který měří Papeon^{SliverTester}. Pro strukturu a rovnoměrnost přízí by měl být důležitějším kritériem právě počet vláken, zde by však muselo dojít ke zpřesnění názvu měřené veličiny, protože se nejedná o okamžitou délkovou hmotnost pramene, ale o jakousi normovanou délkovou hmotnost pro jednu hodnotu vlhkosti. Otázkou je také chování jiných materiálů pramene (PES, POP, viskosa atd.).

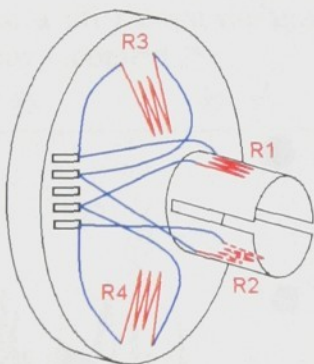
3.5 Porovnání s principem měření tlakové síly

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 fóliových 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 %.

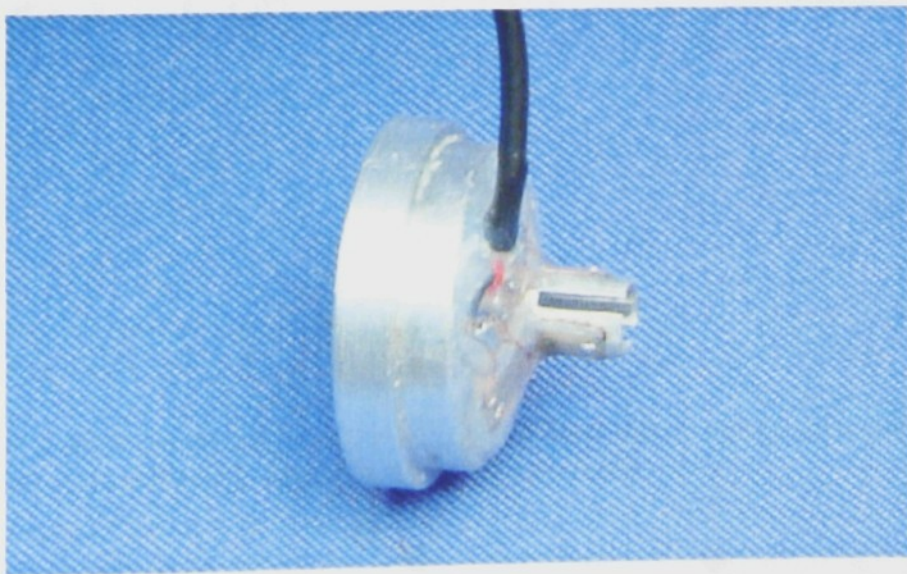
Měřicí zhušťovač byl osazen do snímače TRM VÚTS 5 přístroje Papeon^{SliverTester} na místo klasického zhušťovače a výstupní signály obou snímačů byly zesilovány pomocí přesného můstkového zesilovače Hottinger a zaznamenávány synchronně pomocí měřicího analyzátoru Nicolet 2580P. Byla prováděna měření k určení kalibračních křivek odporová protahovací síla – délková hmotnost pramene a el. napětí vyvolané ohybovou deformací – délková hmotnost pramene postupem popsáním v kapitole 3.3 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 (obr.48). Je patrné, že mimo oblasti pod cca 0,2 N, 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 uváděné v kapitole 3.1, tj. že odporová protahovací síla je daná kromě geometrie zhušťovače, koeficientu tření a konstanty zahrnující vlastnosti pramene především tlakovou silou vyvolanou působením stlačeného pramene na stěny zhušťovače. Lze tedy předpokládat že rozdíly mezi teoretickými průběhy a skutečnou naměřenou odporovou silou, jak jsou zobrazeny na obr. 22 a 23 v kapitole 3.3.2 nejsou způsobeny změnou vazby mezi odporovou protahovací silou a tlakovou silou pro různé poměry zaplnění zhušťovače, ale pravděpodobně jde o chybu způsobenou zjednodušujícími předpoklady zahrnutými do teoretických vztahů. Teoretické vztahy tedy lze považovat za použitelné pouze v oblasti středních zaplnění zhušťovače.

Z grafů na obrázcích 47 a 48 jsou dobře patrné významně jiné poměry mezi odporovou protahovací silou a tlakovou silou pro materiál PES oproti materiálům bavlna a viskosa, které mají chování (poměr) téměř shodné. Vzhledem k tomu, že pro stejnou hodnotu deformace (tlakové síly) narůstá odporová protahovací síla pro materiál PES téměř dvakrát rychleji, lze usuzovat na významně vyšší koeficient tření proti bavlně a viskose.



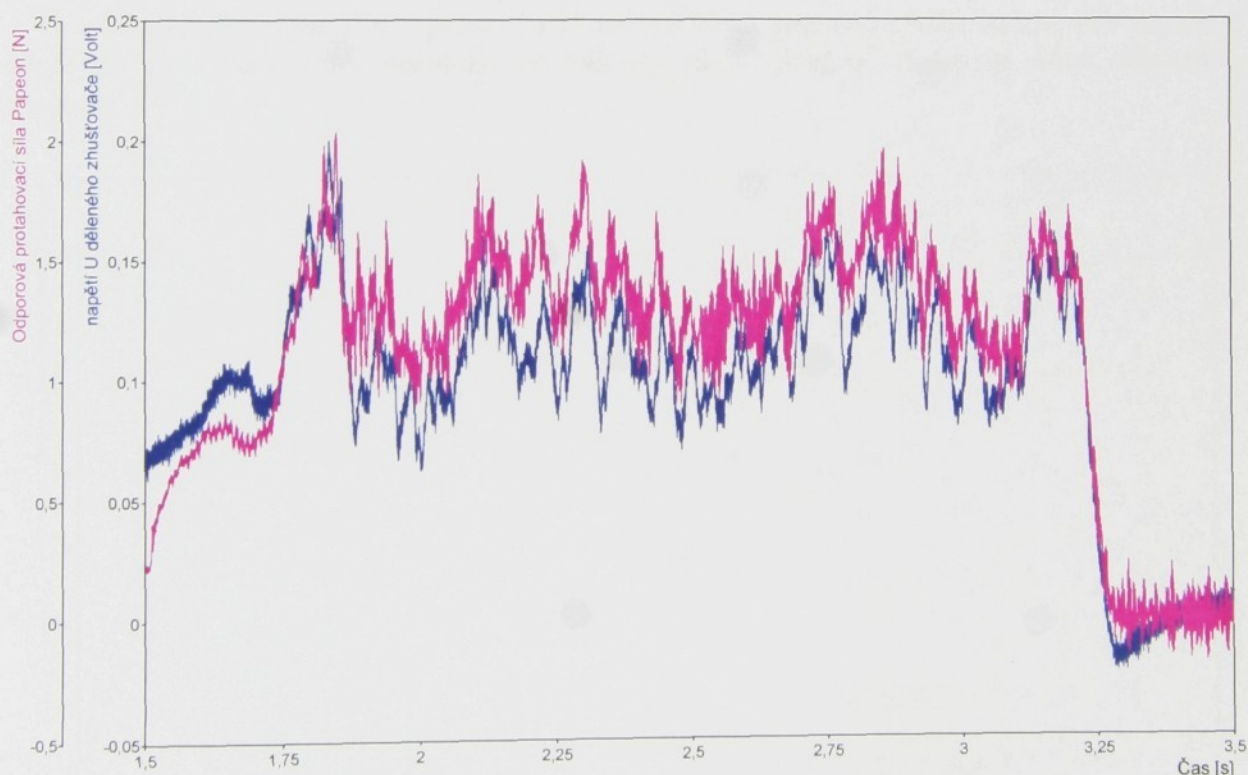
Obr.42 Schematický náčrt umístění tenzometrů na měřicím zhušťovači. Tenzometry R1 a R2 měří ohyb polovin dělené válcové části. Tenzometry R3 a R4 slouží pro kompenzaci vlivu teploty.



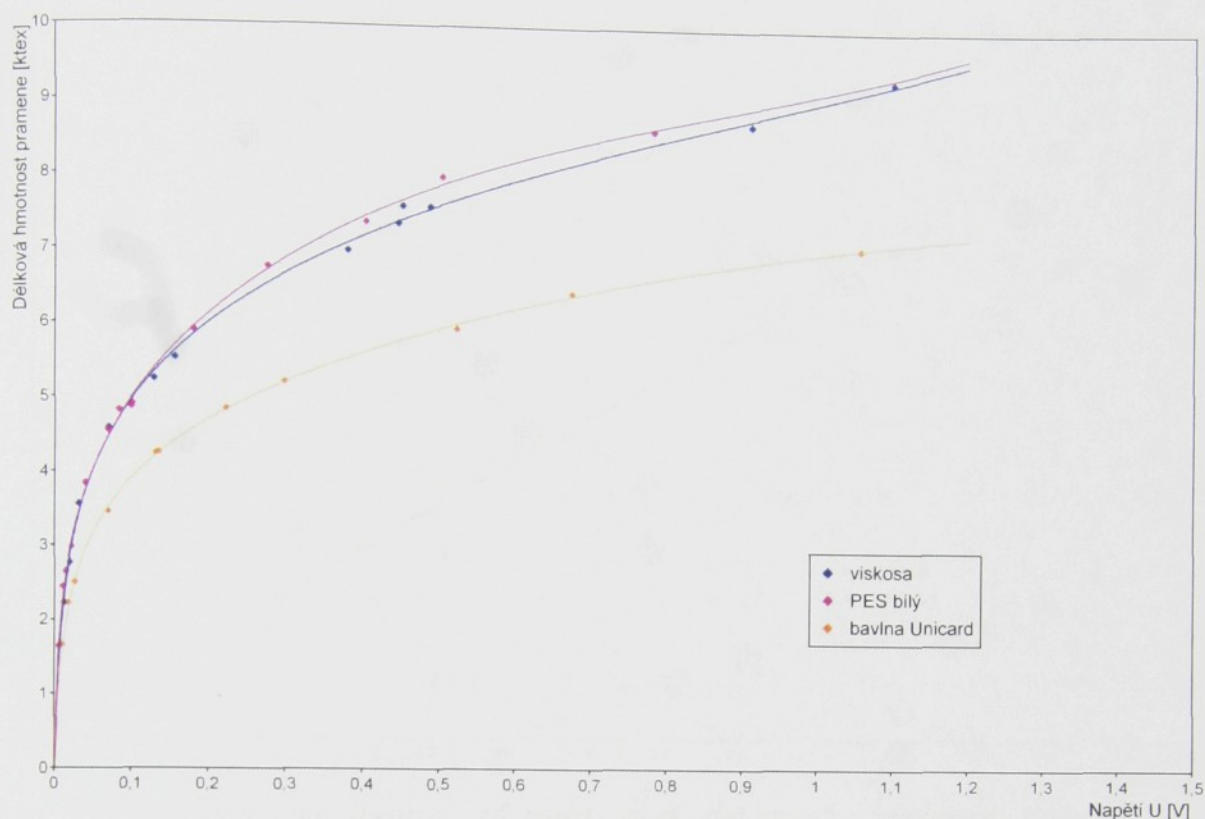
Obr.43 Fotografie děleného měřicího zhušťovače vyrobeného úpravou původního duralového zhušťovače pro snímač TRM VÚTS 5 rozříznutím a zeslabením válcové části.

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.

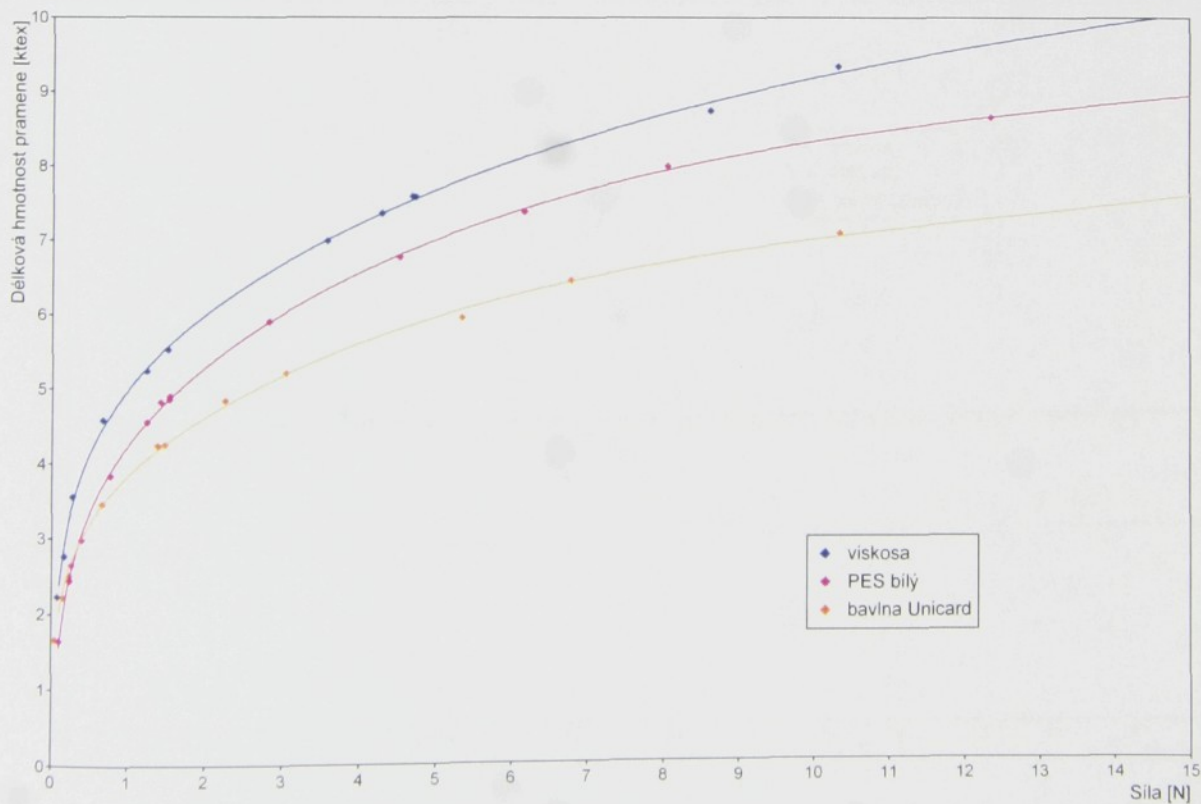
Při pokusech zjistit časové posunutí signálů měřených snímačem TRM VÚTS 5 a děleným zhušťovačem byly vypočteny korelační funkce, ale jejich výsledky pro jednotlivé zkoušky dosahovaly širokého rozptylu v hodnotách 0 až 0,01 s. To bylo způsobeno zejména rozdílným působením odchylek délkové hmotnosti na kratších a delších úsecích a také rozdílným charakterem působení významnějších nárůstů a poklesů délkové hmotnosti. Byly tedy odečteny časy pro jednotlivé významné ostré špičky signálu a zde se časový posun pohybuje v hodnotách 0,006 až 0,008 s, což při rychlosti průtahu pramene přístrojem Papeon^{SliverTester}, která činí 52,3 m/min, představuje vzdálenost 5,2 až 6,97 mm, což koresponduje s délkou válcové části zhušťovače. To odpovídá předpokladu, že významnější extrémy na pramenu jsou při měření odporové protahovací síly zachycovány zejména na vstupu do válcové části zhušťovače a při měření deformace děleného zhušťovače na jeho výstupu, kde vyvolají nejvyšší ohybový moment.



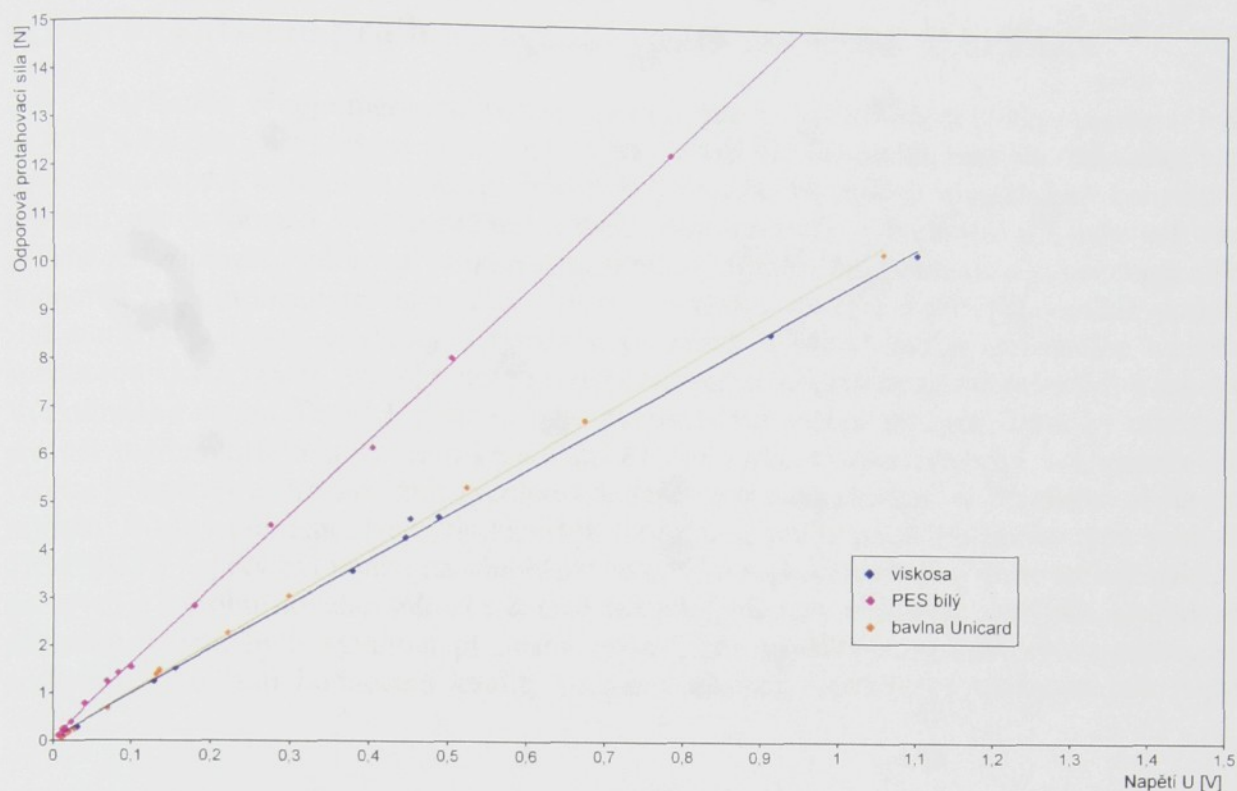
Obr.44 Porovnání průběhů odporové protahovací síly a napětí vyvolaného deformací děleného zhušťovače měřených synchronně pro jeden vzorek.



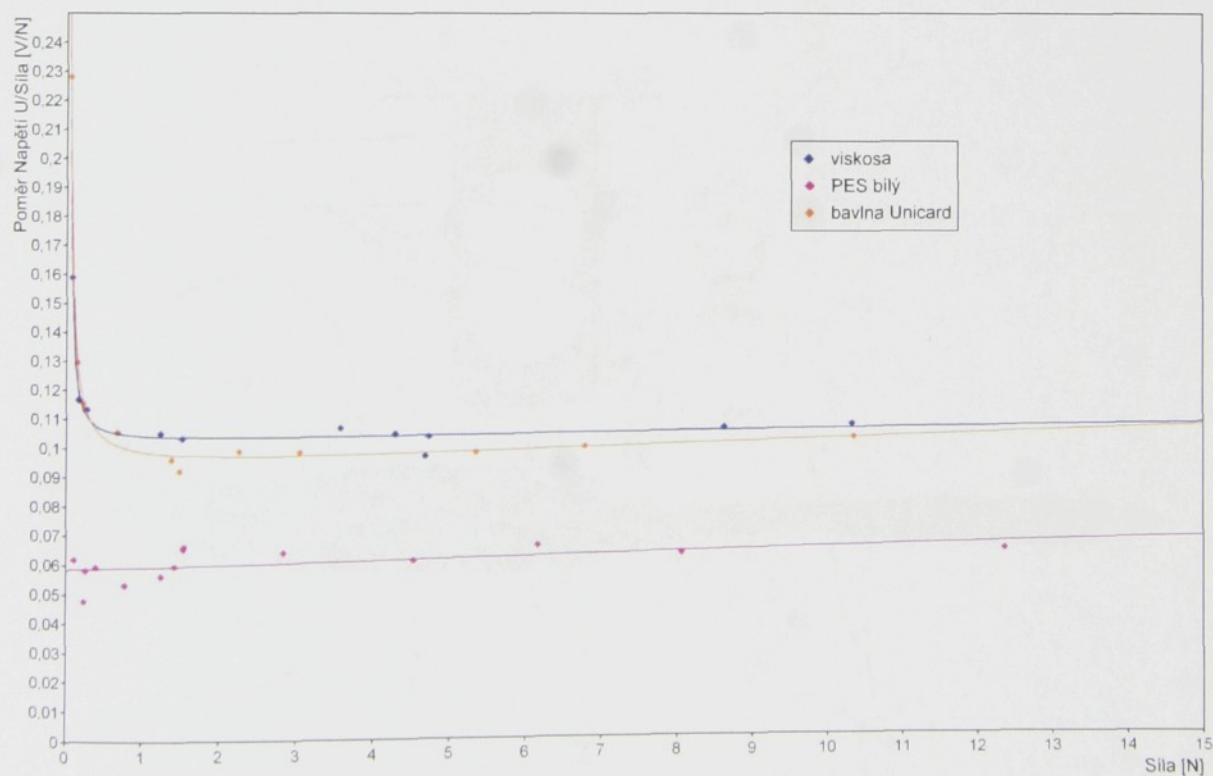
Obr.45 Převodní křivky pro snímač tlakové síly s děleným zhušťovačem, kde napětí U odpovídá deformaci obou nosičků ve válcové části vyvolané tlakovou silou stlačeného pramene.



Obr.46 Převodní křivky pro snímač tlakové síly s děleným zhušťovačem měřené jako závislost odporové síly zhušťovače s kalibrováním otvorem 4,5 mm.



Obr.47 Vynesená lineární závislost mezi deformací vyvolanou tlakovou silou (reprezentována hodnotou napětí U ve voltech) a odporovou protahovací silou. Pokud by byla známa převodní konstanta mezi deformací a tlakovou silou, určovaly by směrnice těchto přímků koeficient tření pro dané materiály pramenů.



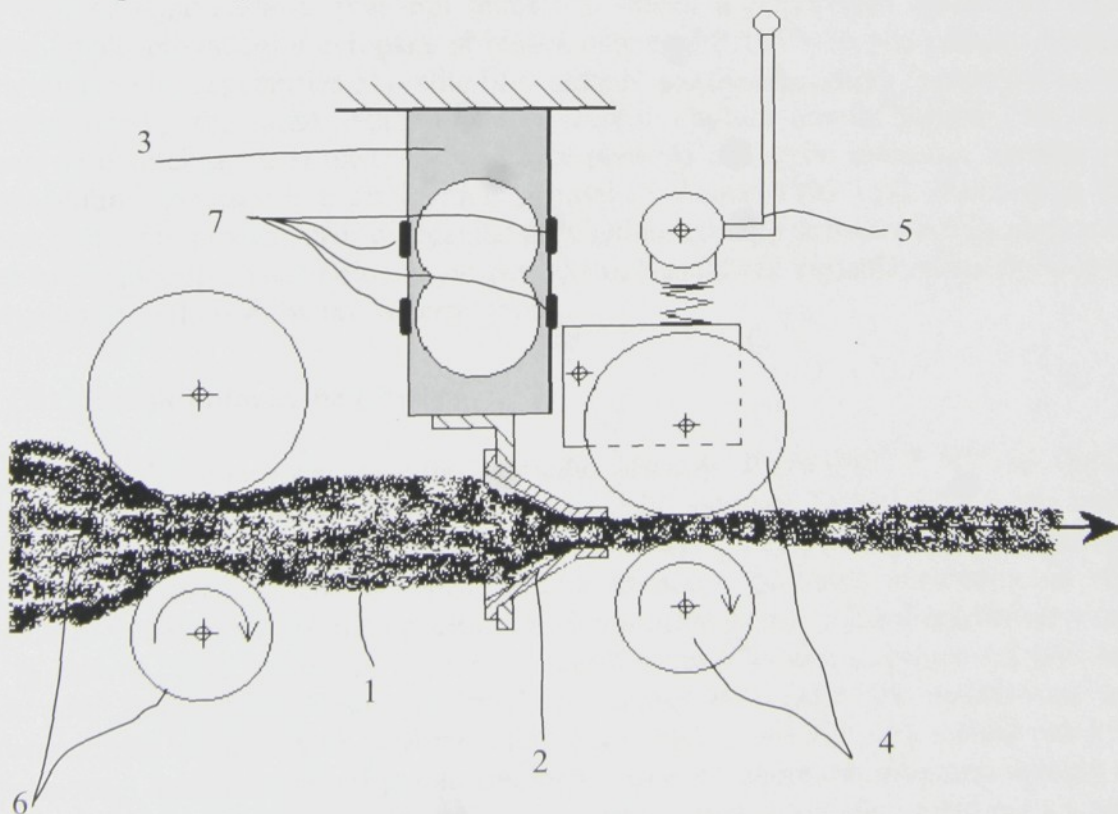
Obr.48 Vynesené poměry napětí vyvolaného deformací od tlakové síly a odporové protahovací síly v závislosti na odporové protahovací síle pro všechny tři měřené materiály prameně.

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 vyhodnocování, 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. Neoptimálnějším 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. Cílem bylo vyvinout přenosný přístroj pro výrobní praxi s příznivou cenou, ale poskytující v oblasti hodnocení kvality pramenů alespoň srovnatelné možnosti jako Uster Tester.

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. 49.



Obr. 49 Schematické vyobrazení mechanického uspořádání přístroje Papeon^{Sliver Tester}.

Měřený pramen 1 je protahován ve směru šipky trychtýřovým zhušťovačem 2 s kalibrovaným otvorem, který je uchycen do snímače síly 3 osazeného tenzometry 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 přitlakem 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

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 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 EP 1659402 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]. Na realizaci se podílel zejména návrhem koncepce přístroje a řídicího softwaru, řízením vývoje a prováděním vývojových a provozních zkoušek. V roce 2005 byla realizována stavba jednoho prototypu pro odladění ovládacího a vyhodnocovacího softwaru a dále aby mohl být podroben dlouhodobým technologickým zkouškám. Na základě výsledků zkoušek bude druhý prototyp upraven do podoby určené pro výrobu.

4.2.1 Základní požadavky na přístroj

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, tj. rozměry jsou limitovány možností dobrého uchopení jednou osobou a případně umístěním na vhodný manipulační vozík spolu s řídicím počítačem. Hmotnostně se měl přístroj pohybovat v únosné míře, tj. řádově do 25 kg, 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 umožňujícím 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.

4.2.2 Mechanická konstrukce

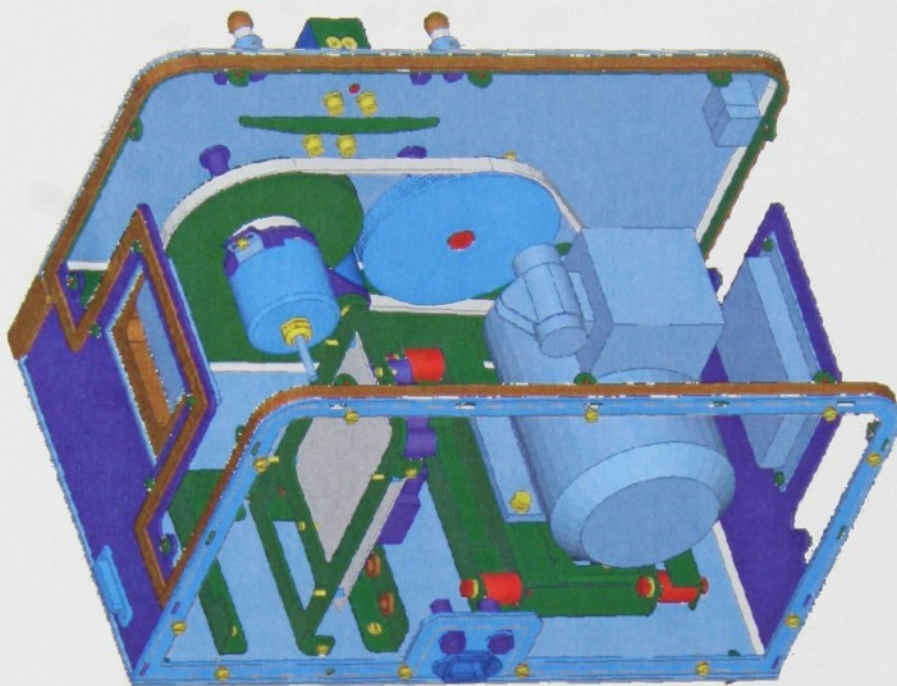
Jako základ rámu byl zvolen svařenec, jehož hlavními součástmi jsou masivní přední ocelová deska a dno. Přední deska je v místě uchycení snímače doplněna o navařené ztužovací žebro pro zvýšení tuhosti a snížení rizika vzniku vibrací. Spoj přední desky a dna je ještě dále vyztužen navařeným profilem L, který slouží zároveň jako vedení pro výsuvné rameno s okem pro odtahování pramene z konve. Ke dnu je přivařen držák pro elektronický modul. Dále se ke dnu šroubuje držák motoru umožňující jeho posuv pro napínání hnacího řemene. Součástí základního rámu jsou i bočnice s úchyty pro madla. Fotografie základního rámu je na obrázku 50.



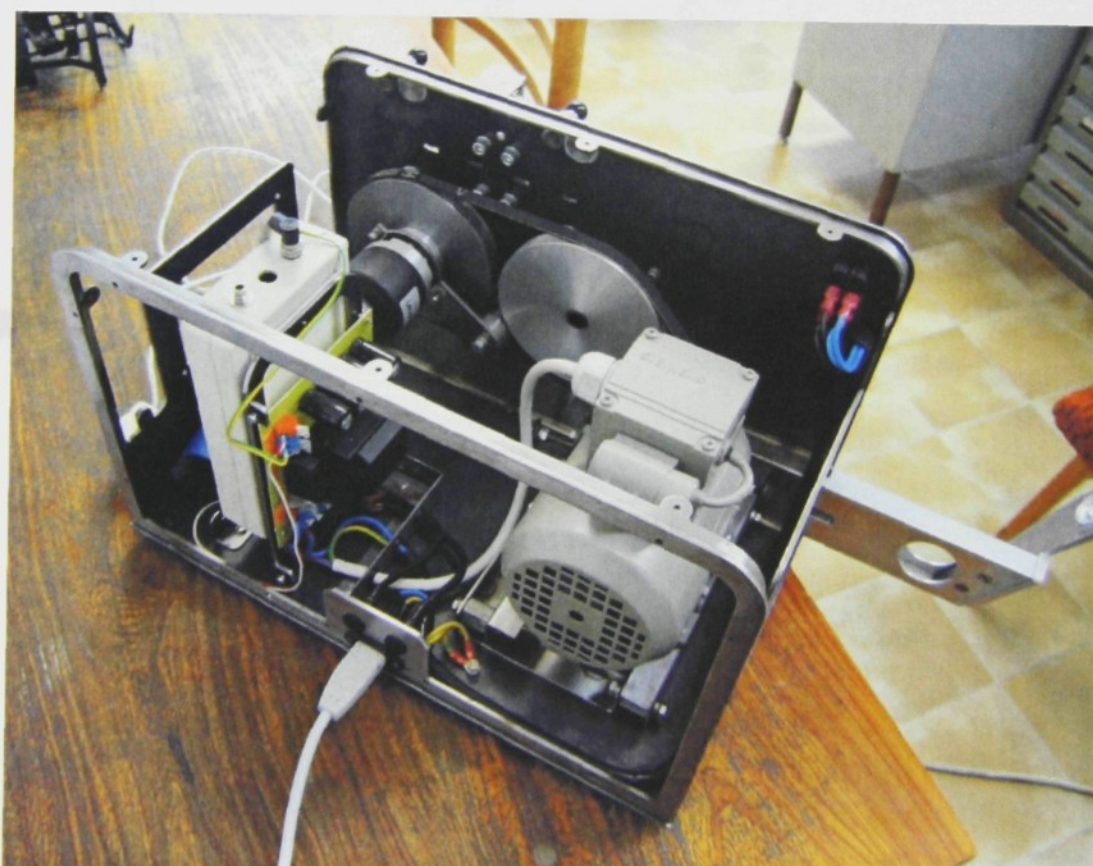
Obr.50 Rám přístroje Papeon^{SliverTester} při pohledu zezadu.

Oba páry protahovacích válečků i s ústrojím zajišťujícím přítlak a snímač TRM-VÚTS 5 jsou osazeny v přední stěně přístroje. Pohon protahovacích válečků je řešen pomocí řemenic a drážkovaného řemene. Řemenice jsou dimenzovány tak, aby zároveň sloužily jako setrvačníky pro zrovnoměnění chodu. Elektronický modul je odstíněn od motoru přídatným plechovým krytem. Ten slouží zejména k eliminaci vlivu elektromagnetického pole motoru na vstupní analogové obvody zpracovávající signál od snímače (přesný přístrojový zesilovač atd.)

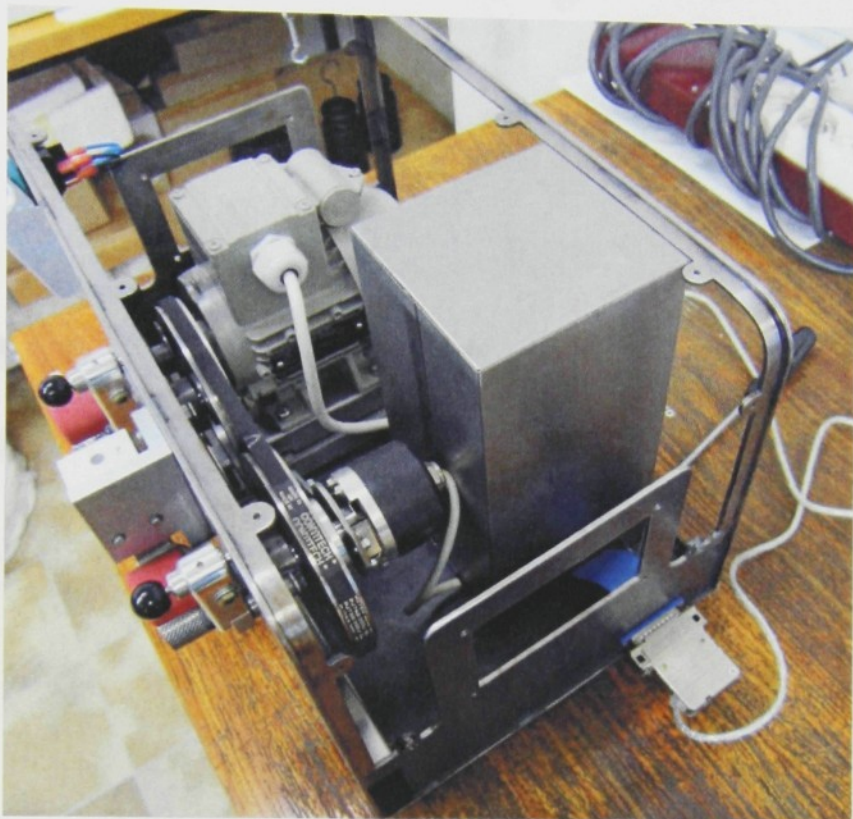
Tvorbu výrobních výkresů a vlastní přípravu výroby a montáž zajišťoval Ing. František Founě, konstruktér odboru měření VÚTS Liberec, a.s. Pro spolupráci na návrhu designu přístroje byl osloven Mgr. A. Jan Tuček, vystudovaný průmyslový designér.



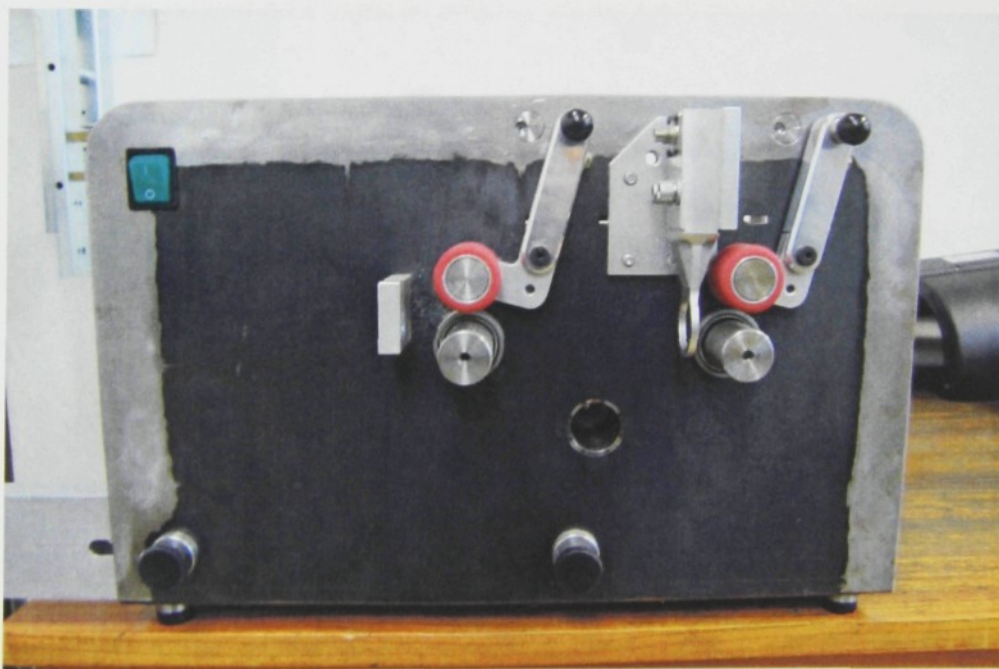
Obr.51 Náčrtes vnitřního uspořádání přístroje vytvořený v software VARI Cad.



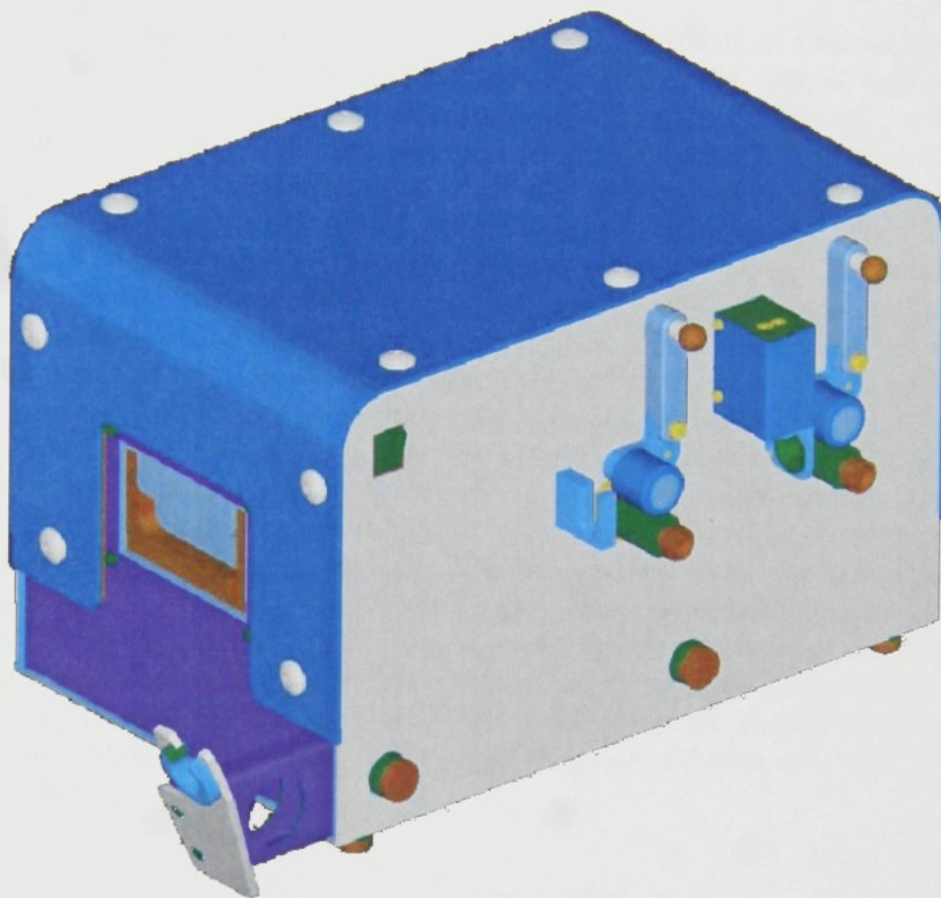
Obr.52 Pohled na vnitřní uspořádání přístroje Papeon^{Sliver} Tester. Vpravo motor pohonu, vlevo elektronický vyhodnocovací modul a silová část elektroniky zajišťující ovládání motoru a napájecí napětí pro elektronický modul. Na čelní stěně jsou uchyceny dvě řemenice pohonu protahovacích válečků, na levé je připevněn inkrementální snímač LARM. Mezi řemenicemi je umístěna napínací kladka řemene.



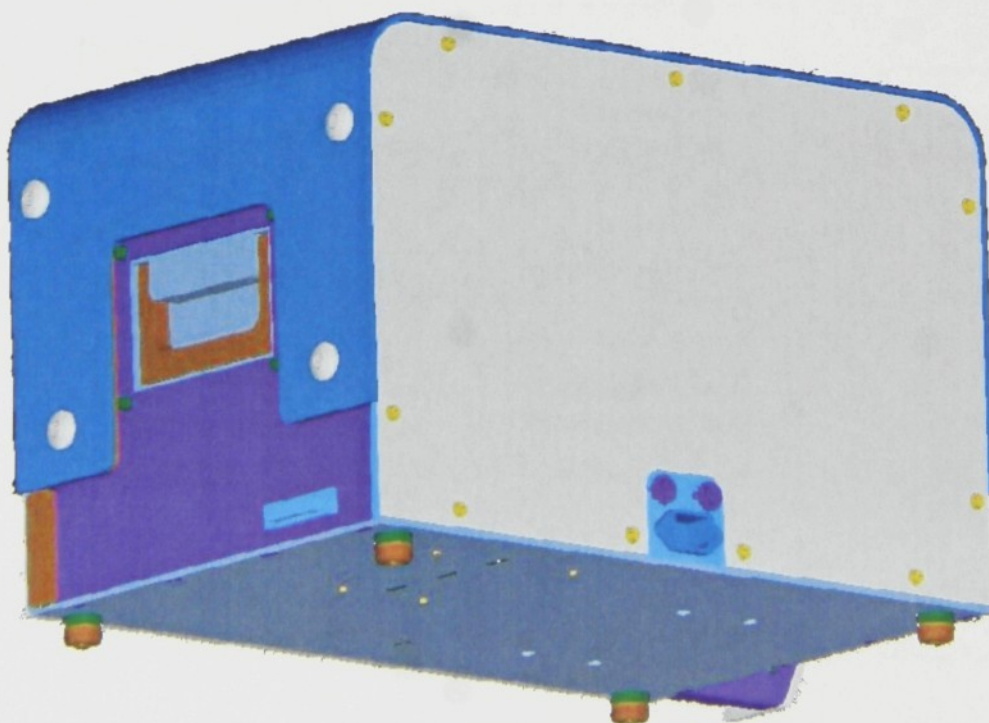
Obr.53 Na tomto snímku je zobrazen plechový kryt sloužící k odstínění elektronického modulu od motoru. Vlevo před ním inkrementální snímač LARM. Vidět je také konektor Cannon 25 pinů sloužící k propojení přístroje s řídicím PC (přes port LPT nebo USB).



Obr.54 Pohled na čelní desku přístroje se snímačem TRM VÚTS 5 a dvěma páry odtahovacích válečků. Horní válečky lze odklopit pro snazší zavedení pramene a válečky drží zaaretovány ve zvednuté poloze. Před prvním párem válečků je vodič pramene s výřezem ve tvaru U zajišťující směrové vedení pramene v příčném směru.



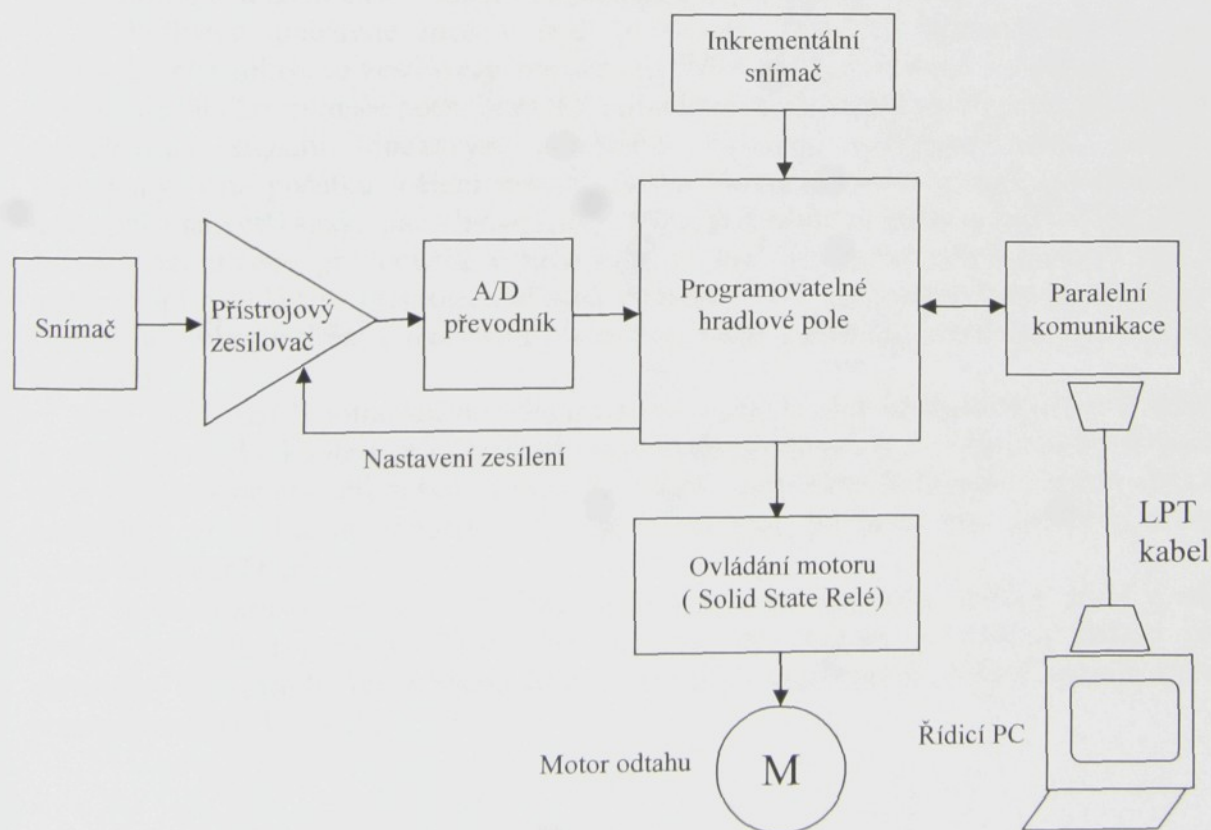
Obr.55 Čelní pohled na kompletní přístroj včetně krytů vytvořený v software VARI Cad.



Obr. 56 Zadní pohled na kompletní přístroj včetně krytů vytvořený v software VARI Cad.

4.2.3 Elektronický modul

Blokové schéma elektronické části měřicího zařízení s poháněcím motorem a připojeným PC k vyhodnocení naměřených dat je na obr. 57. Signál tenzometrického snímače síly je zesílen kvalitním přístrojovým zesilovačem s možností softwarového nastavení čtyř úrovní zesílení. Digitalizace dat se provádí v rychlém A/D převodníku. Vysoké rozlišení A/D převodníku (14 bitů) umožňuje realizovat softwarové vyvažování nuly snímače síly, kdy v hardwaru je proveden pevný offset nuly na úroveň od 0 do 250 mV. Pro vzorkování měřeného signálu se používá inkrementální snímač připojený ke hřídeli spodního odtahovacího válečku. Takto naměřené vzorky odporové síly jsou funkcí délky měřeného pramene. Pro vzorkování se používá jeden kanál IRC čidla s 500 impulsy na otáčku, softwarově lze nastavit přes kolik hran čidla probíhá vzorkování (přes všechny hrany, tj. sestupné i náběžné – 1000 vzorků na otáčku, přes všechny náběžné hrany – 500 vzorků na otáčku, přes 2, 4, 8, 16 náběžných hran). Při průměru odtahového válečku 24,9 mm je vzorkovací krok 0,07822 mm pro 1000 vzorků na otáčku. Programovatelné hradlové pole naměřená data zpracuje a řídí předávání dat a komunikaci s PC. Digitalizovaná data jsou zasílána do řídicího PC k dalšímu zpracování přes paralelní port LPT v EPP režimu pro dosažení požadovaných přenosových rychlostí, nebo je možné využít redukce z LPT na USB port počítače. Spouštění motoru odtahu pramene se provádí automaticky po stisku tlačítka v měřicím a vyhodnocovacím programu. Motor lze ještě před doměřením nastavené požadované délky vzorku zastavit tlačítkem Stop. Ovládání motoru se provádí přes výkonový člen SSR (Solid State Relé). K PC může být připojena tiskárna pro tisk naměřených a vypočtených dat.



Obr. 57 Blokové schéma elektronické a měřicí části přístroje Papeon^{SliverTester}.

Elektronický modul byl vyvinut ve spolupráci s firmou ASIX s.r.o. a v rámci zlevnění vývoje koncipován tak, aby byl kromě měřicího zařízení Papeon^{SliverTester} použitelný také pro měřicí soupravu Waweon určenou k měření tahových sil nití a osnov pomocí tenzometrických snímačů tahových sil [9]. Nejpodstatnějším rozdílem je osazení pouze jednoho vstupu pro tenzometrický snímač u Papeonu na rozdíl od dvou u Waweonu. Většina dalších rozdílů je řešena pouze změnou programu hradlového pole.

4.2.4 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 nestejnoměrnosti pramene již v průběhu měření. Veškerá manipulace obsluhy s přístrojem Papeon^{SliverTester} je omezena na založení pramene do přístroje. 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 nestejnoměrnosti 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. Zobrazení výsledků a princip obsluhy jsou obdobné zavedenému laboratornímu zařízení Uster Tester 4 švýcarské firmy Zellweger Uster.

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. Zařízení Papeon^{SliverTester} je tvořeno jako otevřený systém, který umožňuje rozšíření o další volby a funkce, které v průběhu ověřování a dalšího vývoje vzniknou.

Pro měření hmotnostní nestejnoměrnosti v absolutních hodnotách délkové hmotnosti je přístroj potřeba kalibrovat odměřením odstupňovaných 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.

K softwaru je rovněž vytvořena nápověda, která by měla obsluhu jasně a názorně pomoci zvládnout jeho používání. Na následujícím obrázku je uveden příklad podoby obrazovky softwaru Sliver se všemi čtyřmi výstupními grafy po provedení jednoho měření na pramenu o délce 50 metrů.



Obr. 58 Ukázka typické obrazovky softwaru Papeon se čtyřmi základními grafickými výstupy. Nahoře vlevo hmotnostní diagram, nahoře vpravo délková variační křivka CV(L), dole vlevo čarové spektrum a dole vpravo sloupcové spektrum.

4.2.5 Aproximace kalibrační funkce

Určení správné kalibrační funkce pro měřený materiál pramene je základním předpokladem správného výsledku měření a vyhodnocení. Postup kalibrace přístroje vycházel z poznatků s určováním optimální převodní funkce délková hmotnost pramene – odporová protahovací síla popsaných v kapitole 3. Pro použití v přístroji Papeon^{Sliver Tester} byl zvolen tvar aproximační funkce (3.24) zejména z důvodu stability v okolí nulové síly. Lze předpokládat, že kalibrace bude provedena v dostatečném rozsahu sil převyšujícím pásmo doporučené odporové síly pro daný zhušťovač. Pokud by se měřené hodnoty odporové síly pohybovaly nad tímto pásmem, lze v softwaru vyhodnotit tento stav jako chybový a obsluze zobrazit zprávu o nutnosti výměny zhušťovače za jiný s větším průměrem kalibrovaného otvoru. Do oblasti malých nebo i nulových sil se však přístroj může i při standardním použití dostat běžně, třeba pokud délka měřeného vzorku bude kratší než je nastavená pevná délka měření. V tom případě je nutné, aby zobrazovaná hodnota délkové hmotnosti skutečně klesla k nule, což v případě použití aproximační funkce (3.23) bez přídatných omezení nelze zaručit.

Pro určení koeficientů aproximační funkce z naměřených kalibračních bodů bylo potřeba stanovit metodiku výpočtu. Zvolena byla metoda nejmenších čtverců a odvozeny byly vztahy pro výpočet jednotlivých parametrů rovnice.

Určeme optimální parametry K_1 až K_5 aproximační funkce

$$\gamma = K_1 + K_2 F + K_3 F^2 + K_4 F^3 + K_5 \log_{10}(F) \quad (4.1)$$

pro metodu nejmenších čtverců platí

$$\min S = \sum_{i=1}^n \left(\gamma_i - K_1 - K_2 F_i - K_3 F_i^2 - K_4 F_i^3 - K_5 \log_{10}(F_i) \right)^2 \quad (4.2)$$

parciální derivace podle jednotlivých parametrů

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial S}{\partial K_1} = 0 = \sum_{i=1}^n \left(\gamma_i - K_1 - K_2 F_i - K_3 F_i^2 - K_4 F_i^3 - K_5 \log_{10}(F_i) \right) \Rightarrow \quad (4.3)$$

$$K_1 A - K_2 B - K_3 C - K_4 D - K_5 E = N$$

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial S}{\partial K_2} = 0 = \sum_{i=1}^n \left(\gamma_i F_i - K_1 F_i - K_2 F_i^2 - K_3 F_i^3 - K_4 F_i^4 - K_5 F_i \log_{10}(F_i) \right) \Rightarrow \quad (4.4)$$

$$K_1 B - K_2 D - K_3 E - K_4 F - K_5 I = O$$

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial S}{\partial K_3} = 0 = \sum_{i=1}^n \left(\gamma_i F_i^2 - K_1 F_i^2 - K_2 F_i^3 - K_3 F_i^4 - K_4 F_i^5 - K_5 F_i^2 \log_{10}(F_i) \right) \Rightarrow \quad (4.5)$$

$$K_1 D - K_2 E - K_3 F - K_4 H - K_5 C = P$$

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial S}{\partial K_4} = 0 = \sum_{i=1}^n \left(\gamma_i F_i^3 - K_1 F_i^3 - K_2 F_i^4 - K_3 F_i^5 - K_4 F_i^6 - K_5 F_i^3 \log_{10}(F_i) \right) \Rightarrow \quad (4.6)$$

$$K_1 E - K_2 F - K_3 H - K_4 J - K_5 L = Q$$

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial S}{\partial K_5} = 0 = \sum_{i=1}^n \left(\gamma_i \log_{10}(F_i) - K_1 \log_{10}(F_i) - K_2 F_i \log_{10}(F_i) - K_3 F_i^2 \log_{10}(F_i) - \right. \\ \left. - K_4 F_i^3 \log_{10}(F_i) - K_5 \log_{10}^2(F_i) \right) \Rightarrow K_1 G - K_2 I - K_3 C - K_4 L - K_5 M = R, \quad (4.7)$$

kde

$$A = n \quad (4.8)$$

$$B = \sum_{i=1}^n x_i$$

$$C = \sum_{i=1}^n x_i^2 \log_{10} x_i$$

$$D = \sum_{i=1}^n x_i^2$$

$$E = \sum_{i=1}^n x_i^3$$

$$F = \sum_{i=1}^n x_i^4$$

$$G = \sum_{i=1}^n \log_{10} x_i$$

$$H = \sum_{i=1}^n x_i^5$$

$$I = \sum_{i=1}^n x_i \log_{10} x_i$$

$$J = \sum_{i=1}^n x_i^6$$

$$L = \sum_{i=1}^n x_i^3 \log_{10} x_i$$

$$M = \sum_{i=1}^n \log_{10}^2 x_i$$

$$N = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$O = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

$$P = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i$$

$$Q = \sum_{i=1}^n x_i^3 y_i$$

$$R = \sum_{i=1}^n y_i \log_{10} x_i$$

soustavu pěti rovnic zredukujeme na soustavu čtyř rovnic

$$K_2 \left(\frac{AD}{B} - B \right) + K_3 \left(\frac{AE}{B} - D \right) + K_4 \left(\frac{AF}{B} - E \right) + K_5 \left(\frac{AI}{B} - G \right) = \frac{AO}{B} - N \quad (4.9)$$

$$K_2 \left(\frac{AE}{D} - B \right) + K_3 \left(\frac{AF}{D} - D \right) + K_4 \left(\frac{AH}{D} - E \right) + K_5 \left(\frac{AC}{D} - G \right) = \frac{AP}{D} - N \quad (4.10)$$

$$K_2 \left(\frac{AF}{E} - B \right) + K_3 \left(\frac{AH}{E} - D \right) + K_4 \left(\frac{AJ}{E} - E \right) + K_5 \left(\frac{AL}{E} - G \right) = \frac{AQ}{E} - N \quad (4.11)$$

$$K_2 \left(\frac{AI}{G} - B \right) + K_3 \left(\frac{AK}{G} - D \right) + K_4 \left(\frac{AL}{G} - E \right) + K_5 \left(\frac{AM}{G} - G \right) = \frac{AR}{G} - N \quad (4.12)$$

a dále na soustavu tři rovnic

$$K_3 \left(\frac{(AF - D^2)(AD - B^2)}{AE - BD} - (AE - BD) \right) + K_4 \left(\frac{(AH - DE)(AD - B^2)}{AE - BD} - (AF - BE) \right) + K_5 \left(\frac{(AK - DG)(AD - B^2)}{AE - BD} - (AI - BG) \right) = \frac{(AP - DN)(AD - B^2)}{AE - BD} - (AO - BN) \quad (4.13)$$

$$K_3 \left(\frac{(AH - DE)(AD - B^2)}{AF - BE} - (AE - BD) \right) + K_4 \left(\frac{(AJ - E^2)(AD - B^2)}{AF - BE} - (AF - BE) \right) + K_5 \left(\frac{(AL - EG)(AD - B^2)}{AF - BE} - (AI - BG) \right) = \frac{(AQ - EN)(AD - B^2)}{AF - BE} - (AO - BN) \quad (4.14)$$

$$K_3 \left(\frac{(AK - DG)(AD - B^2)}{AI - BG} - (AE - BD) \right) + K_4 \left(\frac{(AL - EG)(AD - B^2)}{AI - BG} - (AF - BE) \right) + K_5 \left(\frac{(AM - G^2)(AD - B^2)}{AI - BG} - (AI - BG) \right) = \frac{(AR - GN)(AD - B^2)}{AI - BG} - (AO - BN) \quad (4.15)$$

které pro zjednodušení po úpravách prepíšeme na

$$K_3\alpha + K_4\beta + K_5\gamma = \delta \quad (4.16)$$

$$K_3\beta + K_4\varepsilon + K_5\lambda = \mu \quad (4.17)$$

$$K_3\gamma + K_4\lambda + K_5\pi = \rho, \quad (4.18)$$

kde

$$\alpha = (AF - D^2)(AD - B^2) - (AE - BD)^2 \quad (4.19)$$

$$\beta = (AH - DE)(AD - B^2) - (AE - BD)(AF - BE)$$

$$\gamma = (AK - DG)(AD - B^2) - (AI - BG)(AE - BD)$$

$$\delta = (AP - DN)(AD - B^2) - (AO - BN)(AE - BD)$$

$$\varepsilon = (AJ - E^2)(AD - B^2) - (AF - BE)^2$$

$$\lambda = (AL - EG)(AD - B^2) - (AF - BE)(AI - BG)$$

$$\mu = (AQ - EN)(AD - B^2) - (AO - BN)(AF - BE)$$

$$\pi = (AM - G^2)(AD - B^2) - (AI - BG)^2$$

$$\rho = (AR - GN)(AD - B^2) - (AO - BN)(AI - BG)$$

soustavu tří rovnic zredukujeme na rovnice dvě

$$K_4 \left(\frac{\alpha\varepsilon}{\beta} - \beta \right) + K_5 \left(\frac{\alpha\lambda}{\beta} - \gamma \right) = \frac{\alpha\mu}{\beta} - \delta \quad (4.20)$$

$$K_4 \left(\frac{\alpha\lambda}{\gamma} - \beta \right) + K_5 \left(\frac{\alpha\pi}{\gamma} - \gamma \right) = \frac{\alpha\rho}{\gamma} - \delta \quad (4.21)$$

a z nich výslednou rovnicí

$$K_5 \frac{(\alpha\pi - \gamma^2)(\alpha\varepsilon - \beta^2)}{\alpha\lambda - \beta\gamma} - (\alpha\lambda - \beta\gamma) = \frac{(\alpha\rho - \delta\gamma)(\alpha\varepsilon - \beta^2)}{\alpha\lambda - \beta\gamma} - (\alpha\mu - \beta\delta). \quad (4.22)$$

Výsledné parametry aproximační funkce lze tedy vypočítat jako

$$K_5 = \frac{(\alpha\rho - \delta\gamma)(\alpha\varepsilon - \beta^2) - (\alpha\mu - \beta\delta)(\alpha\lambda - \beta\gamma)}{(\alpha\pi - \gamma^2)(\alpha\varepsilon - \beta^2) - (\alpha\lambda - \beta\gamma)^2} \quad (4.23)$$

$$K_4 = \frac{(\alpha\mu - \beta\delta) - K_5(\alpha\lambda - \beta\gamma)}{\alpha\varepsilon - \beta^2} \quad (4.24)$$

$$K_3 = \frac{\delta - K_4\beta - K_5\gamma}{\alpha} \quad (4.25)$$

$$K_2 = \frac{(AO - BN) - K_3(AE - BD) - K_4(AF - BE) - K_5(AI - BG)}{AD - B^2} \quad (4.26)$$

$$K_1 = \frac{N - K_2B - K_3D - K_4E - K_5G}{A}. \quad (4.27)$$

Tyto výsledné vztahy byly použity v softwaru Papeon pro výpočet kalibrační funkce. Předpokládá se potřeba minimálně pěti bodů s dostatečným rozsahem délkových hmotností pro určení použitelné kalibrační funkce.

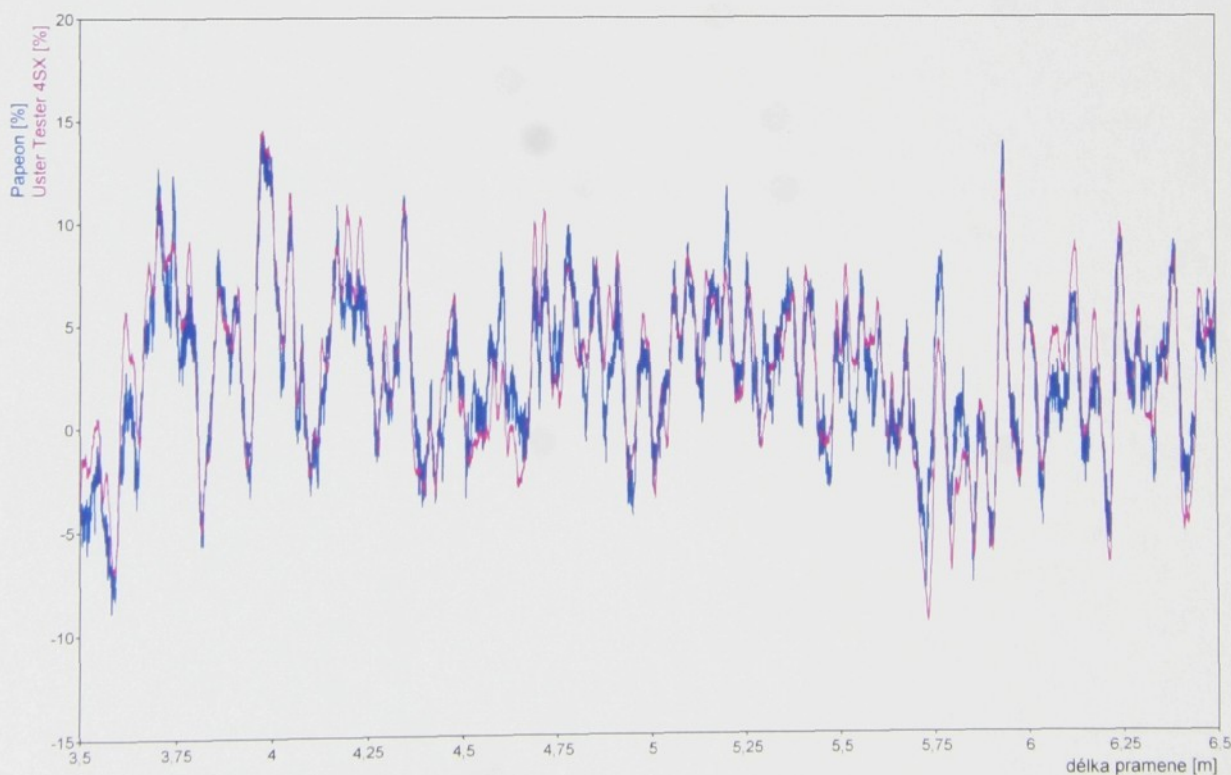
4.3 Provozní zkoušky

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.

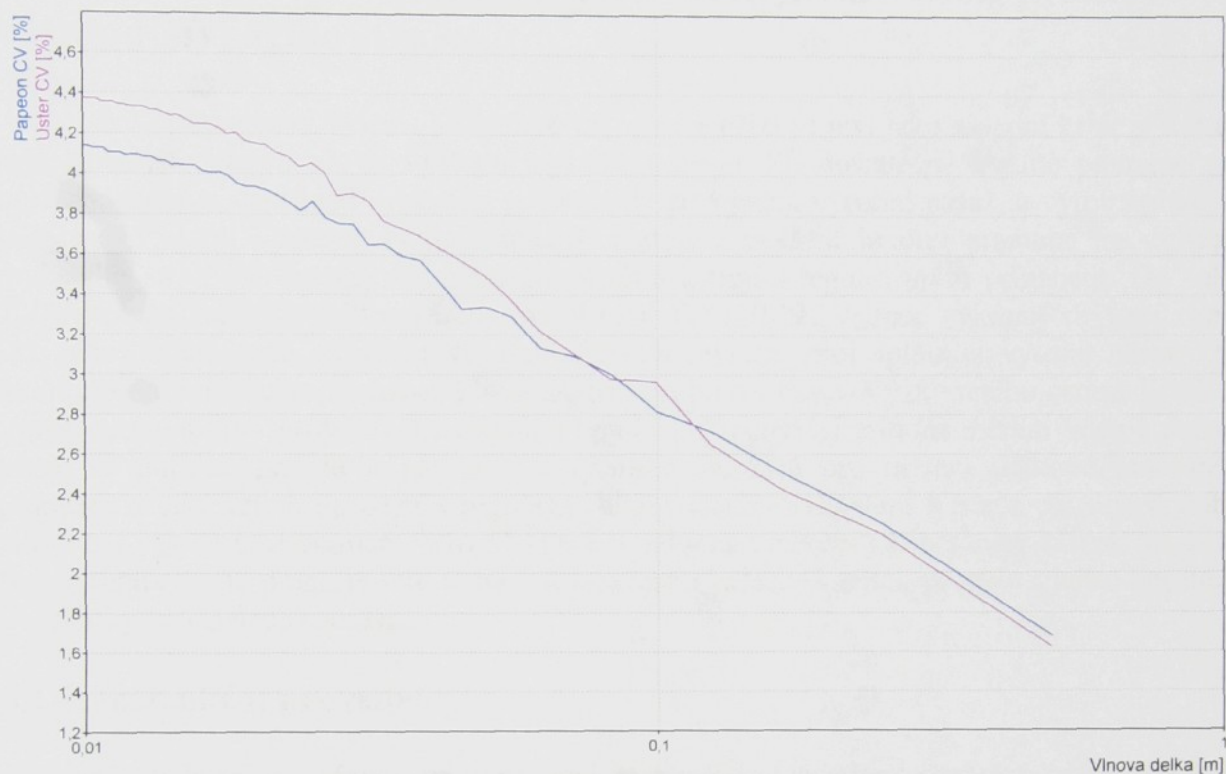
Vzorky byly nejprve proměřeny aparaturou Uster Tester, protože ta díky kapacitnímu principu méně namáhá pramen na dodatečné protažení. Aparatura Uster Tester nejprve určí ze

začátku vzorku jeho střední hodnotu hmotnosti (obvykle úsek délky jednotek metrů v závislosti na rychlosti měření a míře kolísání hmotnosti vzorku) a poté měří kolísání délkové hmotnosti pro bezprostředně navazující část vzorku zadané délky. Výsledky lze získat ve formě protokolu s grafy, ale lze je také vyexportovat ve formě samostatných textových souborů. Lze tak získat ve formě tabulkových dat průběh kolísání délkové hmotnosti (Mass Diagram), křivku délkových změn CV(L), sloupcový spektrogram a histogram. Soubor obsahující průběh procentuálních odchylek je omezen délkou 50 000 vzorků, pro porovnání je proto vhodné přizpůsobit rychlost měření (a tím i vzorkovací frekvenci, respektive délku odpovídající jednomu vzorku) a délku měřeného vzorku tak, aby exportovaný soubor obsahoval celý měřený vzorek.

Vzorky proměřené aparaturou Uster Tester byly proměřeny přístrojem Papeon^{Sliver Tester}, ovšem v opačném směru, tedy odzadu. Hlavním důvodem byla možnost poškození vzorku při pokusu ho ručně převrátit zpět na začátek. Přístroj Papeon^{Sliver Tester} 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. Křivka délkových změn CV(L) byla vypočtena podle vztahů uvedených v kapitole 2.3.2. Pomocí vyhodnocovacího softwaru Flex Pro 6 byly záznamy odchylek délkové hmotnosti z obou přístrojů shodně orientovány a sfázovány 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.59 Porovnání záznamů procentuálních odchylek délkové hmotnosti měřených aparaturou Uster Tester 4SX a přístrojem Papeon^{Sliver Tester}. Pro přehlednost je zobrazena jen část záznamu, původní délka vzorku je 10 metrů.



Obr.60 Porovnání křivek délkových změn změřených aparaturou Uster Tester 4SX a vypočtených z dat měřených přístrojem Papeon^{SliverTester}.

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

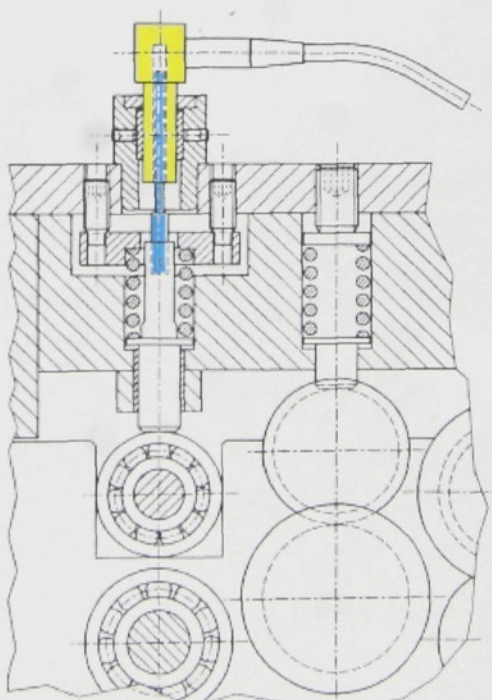
Pro optimalizaci výrobního řetězce při výrobě přízí se jeví jako zásadní krok získat co nejkvalitnější pramen již na výstupu mykacího stroje. Při dostatečné kvalitě pramene tak může odpadnout například družení a posuk, tedy celá jedna výrobní pasáž, a výroba příze se tak časově zkrátí i zlevní. Neoptimálnější 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 průtahového 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

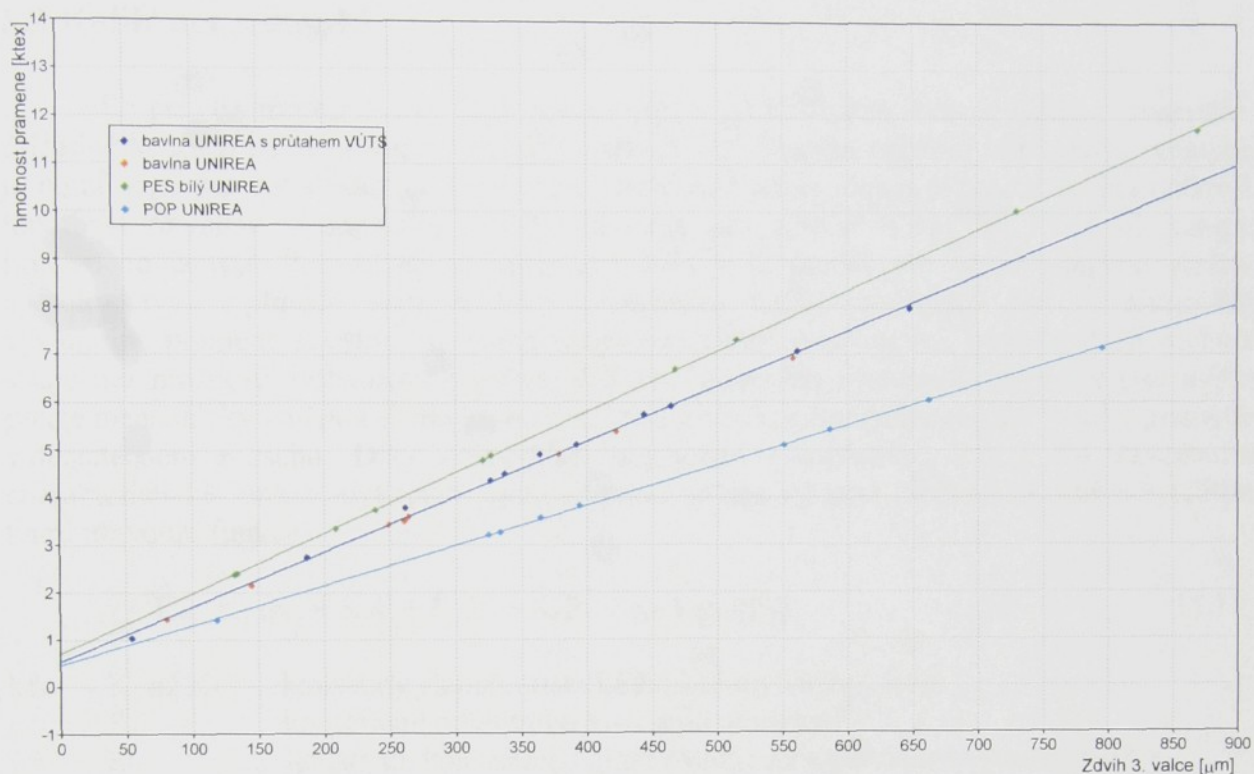
Základními požadavky na nový stroj byly zvýšení rychlosti produkce pramene až na 400 m/min a zvýšení jeho kvality na úroveň umožňující přímé vypřádání bez nutnosti posukování. Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících kvalitu produkovaného pramene je průtažné ústrojí s kvalitní regulací. Pro možnost kvalitního 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 500 Hz, 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 prvnímu 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. Použití druhého snímače TRM VÚTS 5 na výstupu průtažného ústrojí se jevílo jako nevýhodné, protože by průtah musel být doplněn o čtvrtý pár válečků, zajišťujících průtah pramene snímačem a také by se zkomplikovalo zavádění pramene do průtahu. Požadavek na řešení tedy 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 jevílo 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

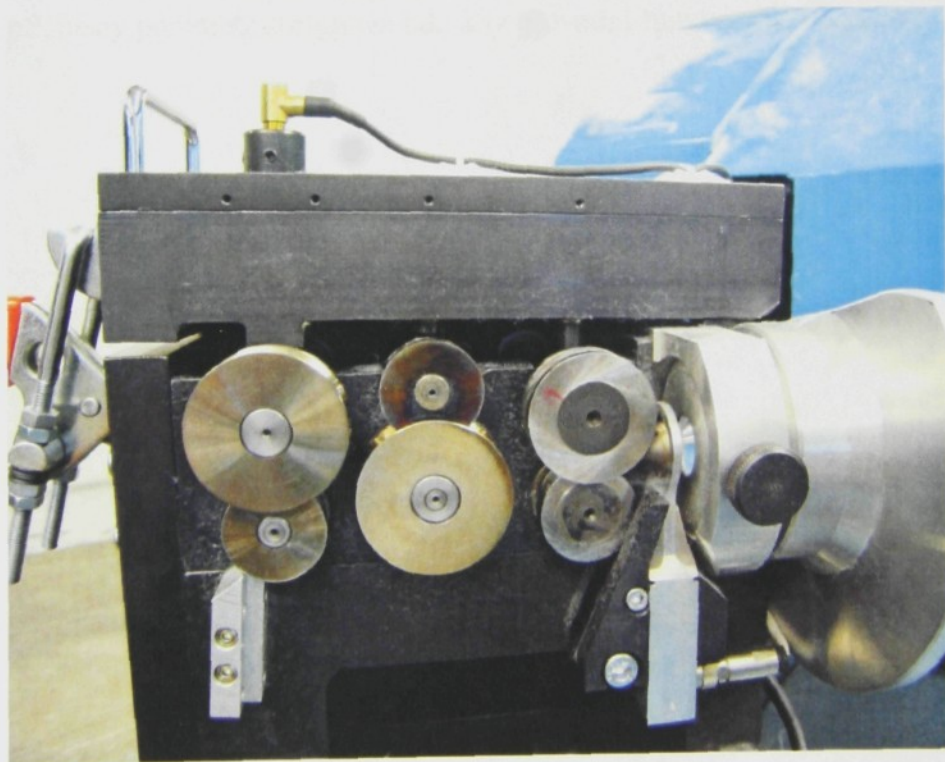
válečku, je změna průřezu definovaná změnou výšky drážky a tedy polohy horního pohyblivého válečku. Nejsprávnějším řešením by bylo měřit polohu horního válečku přímo na povrchu protahovací rolny, to je však konstrukčně velice nevýhodné řešení. Dotykové metody jsou pro měření polohy válečku rotujícího vysokou rychlostí nepoužitelné (hrozí otěr měřicího hrotu nebo vybroušení drážky do povrchu rolny), u bezdotykového optického měření je hlavním problémem zanášení optiky jemným prachem uvolňujícím se z procházejícího pramene a společně s ostatními metodami hrozí poškození snímače připevněného vně rámu průtažného ústrojí nekvalifikovanou obsluhou. Byla proto realizována metoda měření zdvihu ložiska uložení hřídele rolny bližšího k protahovacím rolnám pomocí ho 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 přitlačných 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 přímky. 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 přímky.



Obr.61 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.62 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.



Obr.63 Průtažné ústrojí VÚTS osazené snímačem TRM VÚTS 5 a snímačem zdvihu u třetího páru protahovacích válečků (zlatý váleček s kabelem vlevo nahoře). Směr průchodu pramene je zde zprava doleva.

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 zdoluhavý, 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 popsaným v kapitolách 3.3 a 3.4 zavedením charakteristické funkce mykacího stroje se 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 geometrickými rozměry)

lze 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.

6. 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 jemnosti 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 ziskem 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 vlákenných 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 WAWEON k optimálnímu seřízení textilních, zejména tkacích strojů. In: Quo Vadis Textinum 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 návínů a zařízení k jeho provádění, PV 2004-1081

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

Přílohy

P1 Seznam použitých textilních materiálů a jejich vlastností

Název	Materiál	Výrobce	Stroj	Délka vláken	Hmotnost vláken
bavlna Hybler	100% bavlna	Hybler Semily	Trützschler DK903	29 mm	1,75 dtex
bavlna UNIREA	100% bavlna	CK Spin V. Hamry	UNIREA typ 40	28,8mm	1,78 dtex
bavlna Unicard	100% bavlna	VÚTS	UNICARD 697 v.č. 2	29 mm	1,75 dtex
bavlna Rieter	100% bavlna česaná	Rieter AG	česací stroj Rieter E75		
PES bílý	100% polyester polomatný, Itálie	CK Spin V. Hamry	UNICARD 697 v.č.1	38 mm	1,6 dtex
PES bílý VÚTS	100% polyester polomatný, Itálie	VÚTS	UNIREA typ 40 v.č. 2626 s průtahem VÚTS	38 mm	1,6 dtex
PES UNIREA	100% polyester polomatný, Itálie	CK Spin V. Hamry	UNIREA typ 40	38 mm	1,6 dtex
PES šedý	100% polyester Eslan recyklovaný, Čína	CK Spin V. Hamry	UNICARD 697 v.č.1	38 mm	1,56 dtex
PES bílý Grisuten	100% polyester barva 0, Německo	VÚTS	UNIREA typ 40 v.č. 2626 s průtahem VÚTS	38 mm	1,7 dtex
POP	100% polypropylen	CK Spin V. Hamry	UNIREA typ 40	40 mm	2 dtex
POP UNIREA	100% polypropylen	CK Spin V. Hamry	UNIREA typ 40	40 mm	2 dtex
viskosa	100% viskosa	CK Spin V. Hamry	UNICARD 697 v.č.1	38 mm	1,3 dtex