

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**



**Ing. Gabriela Krupincová**

**Chlupatost přizí**

**AUTOREFERÁT DIZERTAČNÍ PRÁCE**



Název dizertační práce: **Chlupatost přízí**

Autor: **Ing. Gabriela Krupincová**

Obor doktorského studia: textilní materiálové inženýrství

Forma studia: kombinovaná

Školící pracoviště: Katedra textilních technologií Fakulta textilní  
Technická univerzita v Liberci

Školitel: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková

Školitel specialista:

**Liberec 2012**



## 1. Předmět a cíl práce

Cílem disertační práce je studium struktury a prohloubení poznatků o chování přízí z hlediska chlupatosti přízí. Dílčím úkolem je ověření významnosti vybraných faktorů ovlivňujících kvalitu příze a především její chlupatost a ověření modelů pro odhad chlupatosti přízí. Základním předpokladem je, že analýzou dostatečně širokého systémového experimentu je možno stanoveného cíle dosáhnout.

Pro dosažení vytyčeného cílů je zvolen následující postup:

- rešerše problematiky hodnocení chlupatosti přízí z hlediska možností testování chlupatosti příze, modelování chlupatosti příze a dosažených výsledků při posuzování vlivných faktorů,
- ověření stávající metodiky měření chlupatosti příze s využitím obrazové analýzy, návrh její modifikace a otestování upraveného postupu,
- návrh a realizace dílčích experimentů tak, aby bylo možné posoudit vliv vybraných faktorů na chlupatost příze,
- analýza chlupatosti u vytipovaných vzorků přízí z běžné výroby i speciálních výpředů pomocí dostupných metod (Uster Tester 4, Zweigle G 567, IN 22-102-01/01),
- statistické posouzení vlivu vlákného materiálu, geometrických charakteristik přízí a technologie výroby na chlupatost přízí, posouzení souvislosti mezi chlupatostí příze a ostatními sledovanými parametry přízí, základní srovnání chování klasických přízí a nově vyráběných přízí Novaspin,
- diskuze stávajících modelů a možností jejich použití pro predikci chlupatosti příze.

## 2. Přehled současného stavu problematiky

Příze je specifický textilní útvar složený z vláken zpevněný zákrutem. Dle Neckáře [1.1] je možné ji intuitivně rozdělit na oblast jádra jako nosného celku a obal tvořený odstávajícími konci vláken. V oblasti osy příze je vláknový materiál obvykle silně stlačen díky působení mechanických sil v procesu kroucení. V obalových vrstvách příze je stěsnání vláken nižší a s narůstajícím poloměrem klesá [1.2].

Tělo příze je charakteristické těsným uspořádáním vláken, uplatňují se zde mechanicko-fyzikální zákonitosti a individuální charakter vláken je zčásti potlačen. V oblasti chlupatosti jsou vlákna uspořádána volněji a spíše se uplatňují náhodné vlivy. Nalezení jasného rozhraní mezi jádrem a obalem je vždy spojeno s určitými zjednodušujícími předpoklady - zavedením konvencí. Průměr příze je hraniční hodnotou, od níž je chlupatost příze hodnocena, proto ji lze posuzovat pouze ve spojitosti s průměrem a dalšími charakteristikami příze [1.2]. Pro stanovení průměru je možné použít řadu teoretických modelů i experimentálních metodik. Průměr příze je nejčastěji stanovován dle krycí schopnosti příze nebo dané hodnoty zaplnění příze.

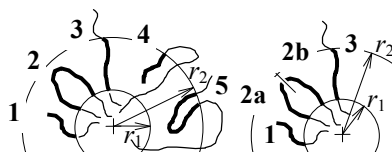
Definice teoreticky nejmenšího možného průměru příze – substančního průměru  $D_s$ , vychází z předpokladu, že z příze byl vytlačen veškerý vzduch a hustota příze  $\rho_p$  odpovídá hustotě vláken  $\rho_v$ , viz vztah (1), kde  $m$  je hmotnost příze,  $l$  je délka příze,  $V$  je objem příze a  $S_p$  je plocha příze. Zaplnění příze  $\mu$  je definováno jako podíl objemů vláken a příze, který lze převést na podíl ploch vláken a příze. Reálný průměr  $D$  je vždy větší než průměr substanční  $D_s$ , protože tento stav v reálu nenastává [1.2].

$$T = m/l = V_p \rho_p / l = S_p \rho_p = \pi D^2 \rho_p / 4 = \pi D^2 \rho_v \mu / 4 ,$$

$$\mu = V_v / V_p = S_v / S_p \quad (1a, b)$$

za předpokladu:  $\rho_p = \rho_v$ , platí:  $T = m/l = V_p \rho_p / l = S_p \rho_p = \pi D_s^2 \rho_v / 4$ .

Chlupatost příze je typickým projevem staplových materiálů. Nejčastěji je charakterizována množstvím vystupujících nebo volně pohyblivých konců vláken 1, vlákněných smyček 2, průchozích vláken 3, vratných konců vláken 4, respektive vratných smyček 5 v povrchových vrstvách příze, viz obr. 1. Kritériem pro posuzování chlupatosti je počet, délka nebo plocha odstávajících vláken na jednotku délky příze. Historický vývoj v používání různých parametrů pro popis chlupatosti je zpracován v [1.3], [1.4], [1.5].



Obr.1 Oblast chlupatosti příze – typy vlákněných segmentů [1.1]

## 2.2 Principy měření chlupatosti přízí – metodiky a přístroje

Pro zjišťování chlupatosti existuje široké spektrum způsobů měření. Většina metod hodnocení chlupatosti je zaměřena pouze na hodnocení chlupatosti přízí ve větších vzdálenostech a rozložení vláken v blízkosti povrchu příze není sledováno. Celkem bylo pro hodnocení chlupatosti navrženo více než čtyřicet metod, které jsou stále inovovány a zlepšovány díky rozvoji technologií výroby přízí a informačních technologií.

Vyhodnocovací postupy jsou založené na odlišných fyzikálních principech. V současné době jsou k dispozici komplexní měřicí aparatury, které spojují výhody různých principů a umožňují jistou míru automatizace celého měření a zpracování výsledků [1.3]. Některé metody byly realizovány pouze v laboratorním uspořádání a jejich implementace pro komerční účely nebyla dokončena. Přístroje umožňující sledování chlupatosti je možné rozdělit do dvou kategorií – přístroje určené pro přímé hodnocení kvality přízí při výrobě příze nebo jejím následném zpracování a laboratorní přístroje určené pro standardní testování kvality.

Všechny měřicí přístroje mají své limity. Některé přístroje se zaměřují pouze na analýzu chlupatosti příze, jiné umožňují hodnotit průměr příze popřípadě hmotnou nestejnomyšlnost, výskyt vad nebo parametry tření a variabilitu sledovaných ukazatelů. Při volbě měřicí metodiky je nutné brát ohled nejen na omezení daná principem a konstrukcí přístroje, ale uvážit jaké informace je přístroj schopen poskytnout a z jakého důvodu je chlupatost přízí hodnocena. Mezi nejrozšířenější komerčně vyráběné systémy v současnosti patří Uster Tester 4 [1.6], [1.7], [1.8] a Zweigle G 567 [1.9], [1.10] nebo jejich upravené varianty. Tyto přístroje byly použity také pro hodnocení chlupatosti experimentálních vzorků přízí spolu s metodikou popsanou v [1.11] respektive [2.1] až [2.3], která využívá obrazové analýzy.

Existující postupy pro měření chlupatosti je možné rozdělit do dvou skupin. První skupina metodik poskytuje informace o chlupatosti prostřednictvím komplexních charakteristik. Druhá skupina metodik hodnotí chlupatost jako počet vláken přesahujících zvolenou pevně danou vzdálenost od povrchu příze, nebo umožňuje získat distribuci vláken v jednotlivých délkových kategoriích od povrchu příze. Povrch příze je dán vnitřním uspořádáním a nastavením měřicích přístrojů, mnohdy není výrobcem zcela vysvětlen a podléhá firemnímu

tajemství. Díky tomu mohou být případná srovnání měřících postupů provedena nepřesně s chybou danou nejednotnou definicí průměru nebo povrchu příze.

V některých případech je možné zpracováním původních dat získat další doplňková kritéria. Velice cenné jsou informace týkající se kolísání sledovaných charakteristik v závislosti na proměřené délce příze (kolísání průměru, hmotné nestejnomyšnosti a chlupatosti příze, délková variační křivka, spektrogram, průběh tření). Většina dostupných metod neumožňuje získání informací o prostorovém uspořádání odstávajících vláken.

Komerčně používané principy zachycují pouze jeden typ chlupatosti nebo popisují chlupatost příze souhrnnou charakteristiku. Komplexní charakteristiky jsou vhodné zejména pro rutinní testování, řízení kvality produkce příze a přejímku přízí při následném technologickém zpracování. Podrobné údaje týkající se uspořádání vláken v obalových vrstvách příze jsou nezbytné při studiu struktury příze. Detailní informace o chlupatosti příze umožňují lépe pochopit a popsat působení vlivných faktorů a nalezení predikčních vztahů pro odhad chlupatosti příze v souvislosti se základními parametry přízí, respektive použitým materiálem nebo technologií výroby příze.

### **2.3 Faktory ovlivňující chlupatost příze**

Chlupatost příze není striktně samostatnou vlastností, ale spíše projevem příze souvisejícím s charakteristikami vláken, geometrií příze a procesem předení. Možný vliv různých faktorů na chlupatost příze a souvislost chlupatosti s dalšími parametry přízí respektive plošných textilií byl prokázán, ale v některých případech jsou prezentovány protichůdné závěry. Účel použití příze často podmiňuje míru možné chlupatosti. Obecně lze faktory ovlivňující chlupatost příze rozdělit do několika podskupin, mezi které patří: vlastnosti vlákenného materiálu, geometrické charakteristiky přízí, technologie výroby přízí a aplikace následných technologických postupů.

Z dosavadního výzkumu vyplynulo, že chlupatost příze ovlivňují zejména tyto charakteristiky vláken: typ, délka, jemnost, resp. průměr a tvar příčného řezu, ohybová a torzní tuhost, pevnost a prodloužení při přetrhu, koeficient tření [1.3], [1.12] až [1.20]. U bavlněných vláken je důležitá také čistota suroviny a v případě vlněných nebo syntetických tvarovaných vláken je to také míra zkadeření a odolnost vůči stlačení. V případě směsových přízí záleží na velikosti směsového podílu, parametrech jednotlivých komponent a kvalitě promísení [1.3], [1.21]. Pro snazší zhodnocení jsou často zaváděna komplexní kritéria kvality vlákenného materiálu [1.22] až [1.30].

Z technologických ukazatelů je to především jemnost příze  $T$  a zákrut příze  $Z$  respektive hodnota zvoleného zákrutového koeficientu, který v sobě obsahuje vliv dvou zmíněných technologických ukazatelů [1.2], [1.4], [2.4]. Vliv technologie výroby na chlupatost příze je komplexní problém. K jeho řešení je možné přistupovat dvěma způsoby. Chápat technologii jako celek a sledovat pouze změny ve výstupním produktu, nebo rozčlenit technologický postup na jednotlivé fáze a hodnotit změny chování příze v souvislosti se změnami jednotlivých operačních celků.

Na základě výsledků z předchozího výzkumu je možné konstatovat, že faktory ovlivňující kvalitu příze v průběhu výroby působí společně a v některých případech není možné jejich vliv eliminovat. Existuje velký počet publikací zaměřených na porovnávání vlastností přízí vyrobených různými technologickými postupy, které se zaměřují na porovnání úpravy dílčích operací nebo inovace funkčních segmentů strojního zařízení [1.3], [1.5], [1.20], [1.24], [1.31] až [1.34]. Studium vlivu následných procesů je prozatím spíše okrajovou záležitostí. Mezi základní technologické operace následující po předení patří převíjení a čištění přízí [1.3], [1.35], [1.36], paření [1.3], [1.32], opalování [1.3], [1.37], mokré procesy (bělení, vyvárka a

šlichtování [1.38] až [1.42], nánosování, praní). Způsob zušlechťování vždy souvisí s účelem použití koncového výrobku.

Důležitým faktorem ovlivňujícím výsledky hodnocení chlupatosti je vlastní měření chlupatosti příze. Mezi významné faktory ovlivňující získané výsledky z hlediska měření, patří: typ použitého přístroje, metodika měření, postup vyhodnocení výsledků, parametr použitý pro charakterizaci chlupatosti, podmínky testování (vlhkost, rychlost) a způsob odběru vzorků. Volba přístroje je omezena přístrojovým vybavením a předurčuje do jisté míry metodiku měření a vyhodnocení výsledků. Informace, které je možné z výsledků měření získat souvisí s charakteristikou použitou pro popis chlupatosti a případně s možností získat původní surová data [1.3], [1.5], [1.43].

## 2.4 Přístupy k popisu a hodnocení chlupatosti – modelování

Chlupatost a způsoby jejího sledování jsou zmiňovány již v [1.3], [1.5]. Původně byla chlupatost chápána pouze jako vlastnost příze (počet, délka nebo plocha vláken), která je pro následné zpracování problematická, je nutné ji sledovat a snažit se o její eliminaci. Postupem času byla do sféry chlupatosti zařazena i část volněji uspořádaných vrstev v blízkosti povrchu příze, které jsou tvořeny krátkými konci vláken a smyčkami vláken. Vývoj metodik měření a popisu chlupatosti ovlivňuje možnosti její kvantifikace. Původně byly pro popis chlupatosti využívány indexy chlupatosti založené na podílu průměru příze zjištěného opticky a fotoelektricky [1.3], [1.5]. Matematický popis výskytu vláken na povrchu příze je zpracován Lappagem a Onionsem v [1.44]. Později byla tato problematika podrobněji zpracována Neckářem [1.1], [1.45] a [1.46].

### Pravděpodobnostní model distribuce vláken

Pravděpodobnostní model distribuce vláken v oblasti chlupatosti příze je odvozen Neckářem například v [1.1], [1.45] a [1.46]. Vlastní pojetí modelu a metodiky měření vychází z idey zpracování obrazu Lappage a Onionse a metodiky Bareilly [1.3], [1.40] a je rozpracováno do teoretického pravděpodobnostního modelu distribuce vláken v oblasti chlupatosti příze. Základní předpoklady jsou formulovány následovně: Vnitřní (kompaktní) část příze je výsledkem působení zejména mechanických zákonitostí stlačování vlákenného materiálu v procesu kroucení a je „ukončena“ pomyslným válcem, který současně definuje průměr příze  $D$ , či poloměr příze  $r_D = \frac{1}{2} D$ . Na poloměrech  $r > r_D$  se rozkládá oblast chlupatosti příze. Vlákenné úseky jsou zakotveny ve vnitřní části příze, vycházejí z poloměru  $r_D$  a každým poloměrem  $r > r_D$  procházejí nejvýše jednou. Vlákna jsou v této oblasti rozmístěna náhodně a statisticky nezávisle.

Pokles četnosti výskytu vláken (vlákenných konců, smyček, atd.) je možné za předpokladu náhodného rozložení směrů i distribuce konců vláken považovat za exponenciální respektive  $N$ -exponenciální, viz obr. 2. Z dosavadních výsledků vyplynulo, že v oblasti chlupatosti se nachází dva typy vláken. Varianta, kdy  $N=2$  je potvrzena i experimentálními výsledky. Funkce  $P(r)$  vyjadřuje pravděpodobnost, že paprsek v definované vzdálenosti od osy příze  $r$  projde a nebude pohlcen vlákenným materiálem. Funkce  $Z(r)$  je nazývána funkcí chlupatosti neboli funkcí zčernání a je doplňkem funkce průhlednosti, viz vztah (2). Vlastní model je možné zapsat vztahy (3) a (4).

$$Z(r) = 1 - P(r). \quad (2)$$

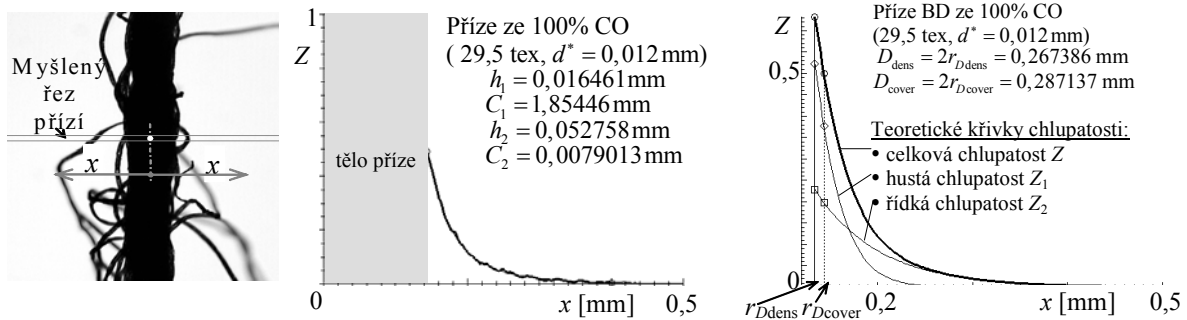


$$\begin{aligned}
-\ln P(r) &= \sum_{i=1}^N -\ln P_i(r) = \\
&= \frac{8}{\pi d^{*2} \ln 2} \left[ h_1 C_1 \left( \int_0^{\pi/2} 2 \frac{r-d/2}{h_1 \cos \alpha} d\alpha - \int_0^{\pi/2} 2 \frac{r+d/2}{h_1 \cos \alpha} d\alpha \right) + h_2 C_2 \left( \int_0^{\pi/2} 2 \frac{r-d/2}{h_2 \cos \alpha} d\alpha - \int_0^{\pi/2} 2 \frac{r+d/2}{h_2 \cos \alpha} d\alpha \right) \right] = \quad (3) \\
&= q_1 z_1(r) + q_2 z_2(r),
\end{aligned}$$

$$\text{kde } C_1 = \mu_{D,1} r_D 2^{r_D/h_1}, \quad C_2 = \mu_{D,2} r_D 2^{r_D/h_2}, \quad q_1 = \frac{8h_1 C_1}{\pi(d)^2 \ln 2}, \quad q_2 = \frac{8h_2 C_2}{\pi(d)^2 \ln 2}, \quad (4)$$

Krátké konce vláken vystupující ve velkém počtu z kompaktní oblasti příze tvoří dle Neckáře tzv. hustou chlupatost. Počet těchto vláken s narůstajícím poloměrem klesá rychle. Řídká chlupatost je tvořena vlákny, která vystupují z poloměru příze s nižší četností, ale jejich délka je poměrně velká a s rostoucím poloměrem jejich počet ubývá jen pomalu.

Výhodou modelu je možnost získat informace o dvou typech chlupatosti. Celková chlupatost – integrální charakteristiky  $I_{c \text{ cover}}$ ,  $I_{c \text{ dens}}$  jsou vyjádřeny jako plochy pod křivkou chlupatosti v intervalu  $(D_{\text{cover}}/2; 3D_{\text{cover}})$  respektive  $(D_{\text{dens}}/2; 3D_{\text{dens}})$ . Dílčí komponenty chlupatosti  $I_{1 \text{ cover}}$ ,  $I_{1 \text{ dens}}$ ,  $I_{2 \text{ cover}}$ ,  $I_{2 \text{ dens}}$  jsou nalezeny jako integrály pod příslušnými dílčími exponenciálami, kdy integrace probíhá od příslušného průměru příze  $D_{\text{cover}}/2$ ,  $D_{\text{dens}}/2$  respektive poloměru příze  $r_{\text{cover}}$ ,  $r_{\text{dens}}$ . Krycí průměr  $D_{\text{cover}}$  příze je odečten z křivky chlupatosti na hodnotě 50% zčernání, hustotní průměr  $D_{\text{dens}}$  je odečten z křivky chlupatosti při hodnotě zaplnění příze 0,11. Je možné získat informace o intervalech polovičního úbytku vláken  $h_i$  a charakteristik souvisejících s charakterem uspořádání vláken v přízi  $C_i$ ,  $q_i$ . Další informace o povrchových vrstvách příze lze získat prostřednictvím zaplnění od vláken jednotlivých komponent chlupatosti (v modelu značeno  $\mu_{D1}$ ,  $\mu_{D2}$ ), celkového zaplnění od vláken tvořících chlupatost  $\mu_D$ . Podrobné odvození je uvedeno v [1.1], [1.45].



a) pohled na přízi b) teoretická a experimentální křivka chlupatosti příze  $Z(r)$  c) průběh dílčích komponent chlupatosti v závislosti na poloměru příze

Obr. 2 Schéma vyhodnocení [2.4]

## Stochastické modelování chlupatosti příze

Možnost využití statistických postupů vycházejících ze zpracování časových řad a teorie zpracování signálu pro komplexní hodnocení chlupatosti přízi byla prezentována Militkým např. v [1.44], [1.47], [1.48], [2.5] a [2.6]. Postup spočívá v analýze surových dat chlupatosti příze naměřených na přístroji Uster Tester 4. Získaná data jsou nejprve testována z hlediska stacionarity, nezávislosti, linearity ergodicity a normality. Chlupatost příze je modelována na základě tří složek: periodické variability, náhodné variability a komplexity. Využita je funkce popisující spektrum testovaných dat tvořících časovou řadu (power spectral density PSD), ze

kteřé je spočten Hurstův exponent a fraktální dimenze. Odhadem empirické hustoty pravděpodobnosti chlupatosti je často histogram s konstantním nebo proměnným počtem tříd. Empirickou hustotu pravděpodobnosti lze nahradit kombinací hustot normálního Gaussova rozložení. Z dostupných výsledků je patrné, že pro popis empirické hustoty pravděpodobnosti vyhovuje obvyčejně bimodální normální Gaussov model, což indikuje výskyt dvou typů chlupatosti.

Data získaná pomocí měřicí metodiky Uster Tester 4 jsou obvykle zpracována dle interní přístrojové statistické metodiky, která není prozatím veřejně publikována a je součástí firemního know how. Je však možné surová data získat a pokusit se o jejich statistickou reanalýzu. Pokud jsou data z normálního rozdělení, pak parametr unimodálního Gaussova normálního rozdělení  $f_U(x_i)$  je dán vztahem (5). Existuje li podezření, že mohou být bimodální (kombinace dvou rozdělení s normálním Gaussovým rozdělením) je parametr  $f_B(x_i)$  dán vztahem (6).

$$f_U(x_i) = A_0 \exp\left(-\frac{(x_i - B_1)^2}{2D_1^2}\right), \quad (5)$$

$$f_B(x_i) = A_1 \exp\left(-\frac{(x_i - B_1)^2}{2D_1^2}\right) + A_2 \exp\left(-\frac{(x_i - B_2)^2}{2D_2^2}\right), \quad (6)$$

kde  $A_1, A_2$  jsou podíly zastoupení komponenty sledované vlastnosti. Parametry  $B_1$  a  $B_2$  korespondují s odhady středních hodnot jednotlivých komponent a parametry  $D_1, D_2$  s odhady směrodatných odchylek.

Pro potvrzení bimodality je použito rozhodovací kritérium, viz vztah (7) a pokud platí, je možné konstatovat, že rozdělení je unimodální.

$$|B_1 - B_2| < 2 \min(D_1, D_2) \quad (7)$$

Pro odhad parametrů rozdělení ( $A_1, A_2, B_1, B_2, D_1$  a  $D_2$ ) je použita metoda nejmenších čtverců, kdy je minimalizován reziduální součet čtverců *RSC*. Základní předpoklady týkající se minimalizace reziduálního součtu čtverců *RSC* jsou uvedeny v [1.49], [1.50]. Bimodální Gaussovský model je nelineární a proto k odhadu parametrů je nutné využít techniky založené na maticovém počtu a interaktivním přístupu. Jako výchozí algoritmus je použit tzv. „Trust-region“, který umožňuje řešit složité nelineární problémy efektivněji než jiné algoritmy a představuje zlepšení oproti známému „Levenberg - Marquardt“ algoritmu [1.50].

### 3. Použité metody a experimentální materiál

Podnět pro sledování chlupatosti přízí, porovnání výsledků a zhodnocení vlivu sledovaných faktorů byl z větší části iniciován potřebami výrobních podniků. Příze pro experiment byly vyrobeny cíleně s ohledem na daný typ problému nebo odebírány z běžné produkce. Testována byla vlákenná surovina, příze a také plošné textilie vyrobené z těchto přízí. V některých případech byly textilie zušlechtěny a zpracovány do finálního výrobku a u vybraných výrobků byly provedeny také testy nošením. Experiment byl s ohledem na cíle disertační práce rozdělen do několika částí.

Nejprve byly navrženy dílčí změny ve vyhodnocovacím postupu popsáném v interní normě, viz [1.11]. Modifikace původního postupu se týkala především způsobu prahování obrazu, nalezení osy příze, volby zvětšení a rozlišení obrazu, celkové „zpracovávanou délky“ příze a posouzení variability výsledků [2.5] až [2.16]. Poté byl posuzován vlastností vlákenného materiálu, geometrických parametrů příze (jemnost příze  $T$ , zákrut příze  $Z$ ) a technologie

výroby na výslednou chlupatost příze. Sledován byl také vliv podmínek měření a použité metodiky pro hodnocení chlupatosti příze a dílčí výsledky jsou uvedeny v [2.17] až [2.21]. Ověřovány byly souvislosti chlupatosti se strukturními, mechanicko-fyzikálními vlastnostmi přízí a celkovou kvalitou přízí. Dílčí výsledky jsou uvedeny v [2.22] až [2.26]. V souladu s cíli disertační práce bylo provedeno posouzení vlivu chlupatosti příze jako ukazatele kvality přízí s charakterem plošných textilií respektive výrobků z nich. Dílčí výsledky jsou uvedeny v [2.27] až [2.40]. Prověřeny byly i možnosti modelování chlupatosti přízí. Dosažené výsledky jsou podrobně prezentovány disertační práci.

Pro hodnocení vybraných vlastností vláken, přízí, plošných textilií a finálních výrobků byly využity standardní postupy dle platných norem a nové metody měření definované pomocí interních standardů. Chlupatost příze byla stanovena s užitím tří postupů: Uster Tester 4, Zweigle G 567 a s užitím interní metodiky popsané v [1.11] respektive [2.2].

Pro posouzení vlivu vybraných faktorů na výslednou chlupatost příze vyjádřenou prostřednictvím komplexního indexu chlupatosti  $H$ , součtových kritérií  $S_{12}$ ,  $S_3$ ,  $S$ , kritérií  $K_1$ ,  $K_2$ , eventuálně integrálních charakteristik  $I_1\ dens$ ,  $I_2\ dens$ ,  $I_c\ dens$ ,  $I_1\ cover$ ,  $I_2\ cover$ ,  $I_c\ cover$  a charakteristik získaných reanalýzou surových dat hodnocení chlupatosti přízí pomocí Uster Tester 4  $H^*$ ,  $sh^*$ ,  $H_1$ ,  $sh_1$ ,  $H_2$ ,  $sh_2$ ,  $portion_1$ ,  $portion_2$  byly využity následující statistické postupy: statistické porovnání dvou výběrů, korelační analýza, analýza rozptylu ANOVA 1 a 2, analýza hlavních komponent a analýza shluků.

#### 4. Přehled dosažených výsledků

Rešerše stávajících možností testování chlupatosti příze mapuje způsoby hodnocení chlupatosti od prvních laboratorních postupů až po současné sofistikované techniky, které jsou součástí moderních měřicích přístrojů. Mezi nejpoužívanější přístroje patří bezesporu zařízení firmy Zelweger, která před nedávnou dobou převzala také společnost Zweigle. Nejrozšířenější a nejpoužívanější zařízení pro měření chlupatosti Uster Tester 4 a Zweigle G567 jsou nyní nabízeny pod záštitou jedné společnosti. Kromě testovacích možností byl proveden průzkum možností modelování chlupatosti příze. Z něhož vyplynuly dva přístupy k modelování chlupatosti - pravděpodobnostní a stochastický. Pravděpodobnostní model distribuce vláken v oblasti chlupatosti příze vychází z metodiky Lappage a Onionse, který později upravil Barella a zobecnil Neckář. Možnost využít teorie zpracování signálu a časových řad pro zpracování dat týkajících se chlupatosti příze publikoval poprvé Militký a spoluautoři.

Experimentální výsledky prezentované v [2.1] až [2.3] a [2.41] se týkají ověřování a modifikace stávající metodiky měření chlupatosti příze s využitím obrazové analýzy a rozboru systematických výpředů přízí. Návrh změn původní metodiky hodnocení chlupatosti dle [1.11] je nutné ověřit z hlediska reprodukovatelnosti a opakovatelnosti měření na větším počtu přízí vyrobených z různých materiálů, nalézt nejvhodnější způsob vyjádření variability získaných výsledků a stanovit minimální rozsah výběru vzorků. Všechny měřicí postupy mají své limity a jsou schopné poskytnout pouze omezené množství informací. Vliv metodiky měření na výsledky testování souvisí s přístrojovým vybavením, principem měření, způsobem vyhodnocení a podmínkami testování. Přesto je způsob zpracování získaných dat inovativní a mohl by být využit pro rozšíření stávajících profesionálních měřicích postupů. Prozatím proběhla první jednání a není zcela jasné, zda se inovace současného měřicího postupu podaří rozšířit o tento modul.

Řada autorů uvádí, že charakter vláknenné suroviny není z hlediska chlupatosti příze příliš určující. Přesto může studium této problematiky pomoci vysvětlit zákonitosti vzniku chlupatosti a její souvislost s migrací vláken uvnitř příze. Z výsledků [1.16], [1.25] vyplývá,

že není možné dosáhnout shodné kvality příze při různé kvalitě suroviny a markantněji se kvalita vláken na chlupatost a stejnoměrnost příze ve smyslu (jemnosti, micronérové hodnoty a pevnostních ukazatelů) projevuje u jemnějších přízí a ve smyslu (délky vláken, obsahu nečistot, tření a ohybové tuhosti) projevuje u hrubších přízí. Analýza testovaných souborů přízí naznačuje, že typ použitých vláken významným způsobem ovlivňuje výslednou chlupatost příze. Podařilo se potvrdit, že příze ze syntetických materiálů vykazují mírně vyšší míru chlupatosti než příze bavlněné, což je v souladu s výsledky uvedenými v [1.3], [1.8] a [1.4]. Analýza rotorových přízí potvrdila, že užití směsi bavlněných vláken s větší staplovou délkou a vyšší stejnoměrností staplu, která má zároveň lepší mechanicko-fyzikální vlastnosti vede k nižší chlupatosti příze vyjádřené nejen indexem chlupatosti  $H$ , ale i sumačními kritérii  $S_{12}$ ,  $S_3$ ,  $S$ . Výsledky velmi dobře korespondují se závěry v [1.15] a [1.16].

Provedená analýza souborů experimentálních přízí potvrzuje známé tendence a ukazuje především na vzájemnou vazbu jemnosti, zákrutu resp. zákrutového koeficientu, zaplnění, průměru, chlupatosti a pevnosti příze, která je popsána v [1.2], [1.30], [1.45] a [1.46]. Obecně platí, že u přízí předených ze stejného materiálu, stejnou technologií, s konstantní jemností a s konstantním zákrutovým koeficientem, je také stejná úroveň zaplnění, průměru, chlupatosti a pevnosti. Hrubší příze ze stejného materiálu předené shodnou technologií, jsou předené s vyšším zákrutovým koeficientem, avšak s nižším zákrutem z důvodu vyššího počtu vláken, a proto se zaplnění snižuje, průměr a chlupatost se zvyšuje, poměrná pevnost je na stejné úrovni nebo mírně klesá. Více se vliv zákrutu uplatňuje u prstencových přízí než u přízí předených rotorovou technologií, což je spojeno s vnitřním uspořádáním vláken, strukturou těchto přízí a použitím vyššího zákrutového koeficientu pro jejich výrobu.

Výrobní proces je komplexní systém, kde velkou roli hraje především funkčnost dílčích segmentů a celkové seřízení. V rámci analýzy systematických výpředů je technologie posuzována jako celek. Ve většině studií zabývajících se srovnáváním chování a vlastností přízí s ohledem na vliv technologie výroby je jako komparační technologie voleno klasické prstencové dopřádání nebo rotorová technologie [1.41], [1.44] a [1.51]. V tomto případě byly posuzovány příze vyrobené klasickou technologií, technologií Novaspin a rotorovým dopřádáním. Bylo potvrzeno, že charakter klasických prstencových přízí z hlediska kvality a především chlupatosti příze v porovnání s rotorovými přízemi je rozdílný. Důvodem je odlišné uspořádání vláken v přízi, typická uzavřená struktura rotorových přízí s ovinky a nutnost použít vyšší zákrut pro dosažení srovnatelných mechanicko-fyzikálních vlastností s prstencovými přízemi. Podařilo se prokázat, že příze Novaspin jsou svojí strukturou, chováním a dílčími ukazateli kvality včetně chlupatosti srovnatelné s prstencovými přízemi. Prototypy těchto přízí sice vykazují mírné odlišnosti a mírně vyšší objemnost příze z hlediska zaplnění, ale obecně je možné tyto jemné nuance považovat za statisticky nevýznamné. Výhodou přízí Novaspin jsou nižší výrobní náklady, které při shodné kvalitě výrobku zlepšují jejich konkurenceschopnost na trhu.

Analýza systematických výpředů byla provedena s cílem zhodnotit vliv vlákenného materiálu, geometrických charakteristik přízí a technologie výroby na chlupatost přízí a posoudit souvislosti mezi chlupatostí přízí a ostatními sledovanými parametry přízí. Výsledky vícerozměrné analýzy experimentálních dat potvrzují, že vlivných faktorů je celá řada. Jejich působení je provázané a ve většině případů není možné jednotlivé faktory posuzovat samostatně. Korelační analýza, analýza rozptylu a analýza hlavních komponent potvrdila, že chlupatost přízí vykazuje souvislost s parametry vláken, geometrickými charakteristikami příze, hmotnou nestejnou měrností přízí, počty vad a technologií výroby. Míra vzájemného vztahu mezi chlupatostí a ostatními charakteristikami příze je z části dána použitou metodikou měření a charakteristikou použitou pro popis chlupatosti.

## 5. Zhodnocení výsledků a nových poznatků

Cílem disertační práce bylo studium struktury a vlastností přízí. Hlavní snahou bylo prohloubení poznatků o chování přízí a ověření významnosti vybraných faktorů ovlivňujících kvalitu příze a především její chlupatost.

Podařilo se prokázat, že charakter vláknenné suroviny, úroveň jemnosti ve spojení se zákrutem a technologií výroby významně ovlivňují kvalitu příze a také její chlupatost. Hlubší rozbor získaných experimentálních dat potvrdil existenci dvou typů chlupatosti [1.2], [1.30], [1.45] a [1.46]. Bimodalita indexu chlupatosti byla potvrzena reanalýzou surových dat získaných prostřednictvím Uster Tester 4 dle stochastického modelu navrženého Militkým a spoluautory [1.21], [1.47] a [1.48]. Dvojí charakter chlupatosti naznačují také sumační kritéria chlupatosti a výsledky týkající se chlupatosti příze získané dle modelu Neckáře, což je v souladu s [1.1], [1.22], [1.45], [1.47] a [1.48].

Podařilo se navrhnout a zpřesnit predikční regresní vztahy pro odhad vybraných charakteristik chlupatosti příze. Ukazuje se, že jako univerzální charakteristiku chlupatosti lze použít index chlupatosti příze  $H$ , který může být vhodně doplněn sumačními kritérii  $S_{12}$  a  $S_3$  nebo integrálními charakteristikami příze  $I_{C\ dens}$ ,  $I_{C\ cover}$ . Pro první kvalifikovaný odhad velikosti indexu chlupatosti je možné s výhodou využít vztahy zahrnuté do statistiky Uster. Preciznější odhad velikosti indexu chlupatosti příze  $H$ , sumačních kritérii  $S_{12}$  a  $S_3$  a integrálních charakteristik lze provést dle predikčních vztahů navržených v disertační práci a publikacích autorky. Dobrých výsledků bude dosaženo pouze za předpokladu, že se predikce bude týkat přízí kvalitativně srovnatelných s těmi, které byly pro sestavení modelu použity.

Z porovnání výsledků získaných různými metodami se ukazuje, že poskytované informace jsou srovnatelné, metody jsou komparabilní a za určitých předpokladů by bylo možné sestavit rovnice umožňující vzájemný přepočítání charakteristik používaných pro popis chlupatosti příze. Toho je možné využít při tvorbě komplexních softwarů umožňujících predikci koncových výrobků na základě znalosti kvality příze. Naopak pokud je možné definovat požadavky na koncový výrobek a to s ohledem na kvalitu příze, pak mohou výsledky disertační práce včetně zpřesněných predikčních vztahů a ověřených modelů dle Neckáře a Militkého přispět k sestavení zpětných algoritmů umožňujících optimalizaci vlastností na vstupu – příze.

Na základě provedených experimentů a analýzy získaných dat je možné konstatovat, že předpokládané výsledky byly experimentálně ověřeny. Závěry korespondují s dřívějšími zkušenostmi a rozšiřují dosavadní empirické znalosti. Cíle disertační práce se podařilo naplnit.

## 6. Práce autora se vztahem ke studované problematice

- [2.1] Křemenáková D. at al: *Internal Standards*. Textile Research Centre Textile. Faculty of textile engineering. Technical University of Liberec 2004 – 2009. IN 42-102-01/02 Vyhodnocení chlupatosti přízi.
- [2.2] Křemenáková D., Militký J., Vyšanská M., Krupincová G., Špánková J.: Systém obrazové analýzy pro hodnocení kvality přízi. Výzkumná zpráva FT TUL, Liberec 22.10. 2007.
- [2.3] Křemenáková D. a kol: Realizační příprava pilotních projektů pro klastr Technické textilie. 7. Závěrečná zpráva, oponováno. Program na podporu vytváření společných struktur mezi vysokými školami a odběratelskou sférou, rozvojový projekt na rok 2007 projekt č. 1277 FT TUL 1.7. – 31.12. 2007.
- [2.4] Krupincová G., Křemenáková D., Neckář B., Voborová J., Das D.: Analýza speciálních vlastností přízi Novaspin. Výzkumná zpráva Liberec, 29.3. 2005. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil I, LN 00B090.
- [2.5] Militký J., Ibrahim S., Krupincová G.: Identification of Stochastic Nature of Yarn Hairiness. International Forum on Textile Science and Engineering for Doctoral Candidates 2006. 3.11. – 6.11. 2006 Shanghai China. Proceeding of conference. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553. **Článek získal prestižní ocenění za jeden z nejlepších příspěvků fóra.**
- [2.6] Militký J., Ibrahim S., Krupincová G.: Identification of Stochastic Nature of Yarn Hairiness. *Journal of Donghua University*, Vol. 23, No. 5 2006. ISSN 1672-5220. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553.
- [2.7] Křemenáková D. at al: *Internal Standards*. Textile Research Centre Textile. Faculty of textile engineering. Technical University of Liberec 2004 – 2009. IN 22-102-01/02 Průměr příze.
- [2.8] Krupincová G., Militký J.: Influence of cotton fibre parameters on yarn hairiness. *6<sup>th</sup> International Conference - TEXSCI 2007*, June 5-7, Liberec, Czech Republic. ISBN, 978-80-7372-207-4. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil I, LN 00B090.
- [2.9] Militký J., Křemenáková D., Krupincová G.: Influence of cotton fibre quality on the properties of rotor yarns. *XI<sup>th</sup> International Izmir Textile and Apparel Symposium*, 26 – 29 October 2007 ÇEŞME Izmir Turkey. Proceeding of conference. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553.
- [2.10] Krupincová G.: Influence of yarn count, yarn twist and yarn technology production on yarn hairiness. Proceeding of *Beltwide Cotton Conferences Equipping for Excellence*. January 9-12, 2007, New Orleans, Louisiana, USA, (online) last update 16.4. 2009, dostupné z [www.cotton.org/beltwide/proceedings/2005-2010/data/conferences/2007/papers/6388.pdf#page=1#page=1](http://www.cotton.org/beltwide/proceedings/2005-2010/data/conferences/2007/papers/6388.pdf#page=1#page=1). Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553.
- [2.11] Křemenáková D., Krupincová G., Nováková, J.: Image analysis for description of structural parameters of textiles, International Seminar Coimbatore, India 2003. Proceeding of conference. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553.
- [2.12] Krupincová G., Tunák M.: Practical approach to the yarn hairiness determination. *2<sup>nd</sup> International Conference of Applied Research on Textile*. Cirat 2, 30.11. – 2.12. 2006, Monastir – Tunisia. Proceeding of conference. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553.
- [2.13] Vyšanská M., Krupincová G.: Practical approaches to the yarn diameter determination. *13<sup>th</sup> International conference Strutex 2006*. Structure and structural mechanics of textiles. Technical University of Liberec, CZ, ISBN: 80-7372-135-X. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553.
- [2.14] Krupincová G.: Optical approach to the yarn hairiness determination. *2<sup>nd</sup> International conference TexCo*. Technická Univerzita Liberec a Texticom Rožumberok 16.8. – 18.7. 2006, Rožumberok, Slovensko, ISBN: 80-7372-135-X. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553.
- [2.15] Krupincová G.: Optical approach to the yarn hairiness determination. *International Forum on Textile Science and Engineering for Doctoral Candidates 2006*. 3.11. – 6.11. 2006 Shanghai China. Proceeding of conference. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553.
- [2.16] Krupincová G., Neckář B.: Yarn hairiness. *6<sup>th</sup> International Conference - TEXSCI 2007*, June 5-7, Liberec, Czech Republic. ISBN, 978-80-7372-207-4. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553.
- [2.17] Militký J., Krupincová G., Křemenáková D.: Factors Affecting Cotton Yarn Hairiness. Proceeding of *Beltwide Cotton Conferences*. January 8-11, 2008, Nashville, Tennessee, USA, (online) last update 28.4. 2008, dostupné z [www.cotton.org/beltwide/proceedings/2005-2010/data/conferences/2008/papers/7872.pdf](http://www.cotton.org/beltwide/proceedings/2005-2010/data/conferences/2008/papers/7872.pdf). Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553.

- [2.18] Krupincová G.: Influence of yarn production technology on selected fabric properties. *11<sup>th</sup> International conference STRUTEX 2004*. Technical University of Liberec, 26.1. 2004. ISBN: 80-7083-891-4. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil I, LN 00B090.
- [2.19] Křemenáková D., Mílitký J., Krupincová G.: Influence of production technology on the cotton yarn and fabric selected properties. *10<sup>th</sup> International Izmir Textile and Apparel Symposium*. Izmir/ Cesme Turkey 2004. Proceeding of conference. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil I, LN 00B090.
- [2.20] Křemenáková D., Krupincová G.: Projektování vlastností plošných textilií Novaspin. Průběžná zpráva. Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci. Oponováno. RIV/46747885:24410/04:00000080, V, JJ, U.
- [2.21] Křemenáková D., Krupincová G.: Projektování vlastností plošných textilií Novaspin. Závěrečná zpráva. Výzkumné centrum Textil 2004, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci. Oponováno. RIV/46747885:24410/04:00000080, V, JJ, U.
- [2.22] Mertová I., Krupincová G., Křemenáková D., Wiener J.: Analýza vlastností froté. Výzkumná zpráva. Liberec 17.12. 2005.
- [2.23] Mertová I., Krupincová G., Křemenáková D., Viková, M.: Analýza košilovin. Výzkumná zpráva. Liberec 5.12. 2005.
- [2.24] Mertová I., Krupincová G., Křemenáková D., Viková, M.: Analýza košilovin. Výzkumná zpráva. Liberec 5.12. 2005.
- [2.25] Krupincová G., Metrová I., Viková, M.: Analýza vlastností košilovin - košile. Výzkumná zpráva VCT II. Liberec 8.1. 2007.
- [2.26] Krupincová G., Metrová I., Viková M.: Analýza vlastností tkaného froté - ručníky. Výzkumná zpráva VCT II. Liberec 8.1. 2007.
- [2.27] Křemenáková D., Mílitký J., Krupincová G.: Design Aspects of Cotton Yarn – Geometrical Characteristic. *8<sup>th</sup> International Cotton Conference*, 22 – 23 September 2005, Gdynia, Polsko. Proceeding of conference.
- [2.28] Krupincová G., Metrová I., Nováčková J., Vlach P.: Analýza vlastností lůžkovin. Výzkumná zpráva FT KTT TU Liberec 20.6. 2007.
- [2.29] Krupincová G., Vozková P.: Analýza rotorových přízí. Výzkumná zpráva FT TUL, Liberec 6.12. 2007. Součást specifického výzkumu 2005, 116/4 Struktura přízí a projektu PROTEX FI-IM3/082.
- [2.30] Krupincová G., Vozková P.: Analýza prstencových přízí. Výzkumná zpráva FT TUL, Liberec 20.11. 2007. Součást specifického výzkumu 2007, 116/3 Hodnocení chlupatosti a oděru přízí a součást projektu TEXGUARD FI-IM4/015.
- [2.31] Křemenáková D., Krupincová G.: Analýza struktury a vlastností rotorových přízí. Výzkumná zpráva FT TUL, Liberec 23.11. 2005. Součást projektu PROTEX FI-IM3/082.
- [2.32] Krupincová G.: Analýza vlastností rotorových přízí. Výzkumná zpráva FT TUL, Liberec 7.6. 2007. Součást projektu Výzkum a vývoj nového typu rotorového dopřádacího stroje s aplikací jednotkových pohonů FI-IM/079.
- [2.33] Krupincová G., Křemenáková D.: Analýza speciálních vlastností přízí Novaspin. Výzkumná zpráva FT TUL, Liberec 5.12. 2005. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553.
- [2.34] Krupincová G.: Analýza nových typů přízí. Výzkumná zpráva FT TUL, Liberec 16.5. 2006. Součást projektu NOVATEX FI-IM/027.
- [2.35] Krupincová G.: Analýza speciálních vlastností přízí Novaspin – dodatek ke zprávě. VCT Liberec 23.11. 2005.
- [2.36] Křemenáková D., Krupincová G.: Projektování vlastností přízí Novaspin. Průběžná zpráva. Výzkumné centrum Textil 2003, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci. Oponováno. RIV/46747885:24410/03:00000121 JJ, D.
- [2.37] Křemenáková D., Ibrahim S., Krupincová G.: Structure of hybrid yarns. *The 4<sup>th</sup> International Engineering Conference*, Mansoura University. Mansoura - Sharm El-Sheikh, Egypt 2004. Proceeding of conference. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil I, LN 00B090.
- [2.38] Křemenáková D. a kol.: Analýza speciálních vlastností přízí Novaspin. Výzkumná zpráva FT TUL, Liberec 2005. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553. Oponováno.
- [2.39] Krupincová G., Neckář B.: Analýza vlastností rotorových přízí. Výzkumná zpráva FT TUL, Liberec 19.12. 2006. Součást projektu Výzkum a vývoj nového typu rotorového dopřádacího stroje s aplikací jednotkových pohonů FI-IM/079.
- [2.40] Krupincová G.: Analýza vlastností kompaktních a prstencových přízí. Protokol o měření. KTT FT TUL 14.11. 2007.
- [2.41] Krupincová G., Tunák M.: Hodnocení chlupatosti přízí. *Textilie v novém tisíciletí IV*, VCT, Sekce B, Textilní technologie. Liberec, duben 2006. ISBN: 80-7372-058-2. Součást projektu Výzkumné Centrum Textil II, M 0553.

## 7. Literatura

- [1.1] Neckář B.: Yarn Hairiness, Part 1: Theoretical model of yarn hairiness. 7<sup>th</sup> *International conference Strutex*. Technical University of Liberec, Czech Republic 2000, ISBN: 80-7083-442-0.
- [1.2] Neckář B.: *Příže*. Tvorba, struktura, vlastnosti. SNTL Praha 1990, ISBN 80-03-00213-3.
- [1.3] Barella A.: Yarn Hairiness. *Textile Progress*, Vo. 43, Nr. 1. The Textile Institute 1983, pp. 57, ISBN: 0900739649, ISSN: 1754-2278.
- [1.4] Manuál přístroje Uster Tester 4 firmy Zelweger (5 2002). [www.uster.com](http://www.uster.com). (online) last Update 11.6. 2011.
- [1.5] Anonymous: Uster Hairiness Offers Greater Clarity, ABI/INFORM Global, *Textile World* No. 151, January 2005 ISSN: 0040-5213.
- [1.6] Gordon S.: The Effect of Short Fibre and Nep on Murata Vortex Spinning Efficiency and Product Quality. Final Report to CRDC, October 2001. (online) last update 25.6. 2011, dostupné z [www.crdc.com.au/](http://www.crdc.com.au/).
- [1.7] Manuál přístroje Zweigle G 567. (online) last update 15.5. 2007, dostupné z [www.zweigle.com](http://www.zweigle.com).
- [1.8] Saville B. P.: *Physical Textile Testing*. Published by Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute 1999, ISBN: 978-1-85573-367-1.
- [1.9] Křemenáková D. at al: *Internal Standards*. Textile Research Centre Textile. Faculty of textile engineering. Technical University of Liberec 2004 – 2009. IN 22-102-01/01 Průměr příže.
- [1.10] Goswami B. C.: The hairiness of cotton yarns – An improvement over existing microscopic technique. *Textile Research Journal*, 39, 3, March 1969, ISSN: 0040-5175.
- [1.11] Barella A., Torn J., Vigo J., P.: Application of a new hairiness meter to the study of sources of yarn hairiness. *Textile Research Journal*, 41, 2, February 1972), ISSN: 0040-5175.
- [1.12] Atlas S., Kadoglu H.: Determination fibre properties and linear density effect on cotton yarn hairiness in ring spinning. *Fibres & Textile in Eastern Europe*, July/ September 2006, Vol. 14, No. 3 (57), ISSN: 1230-3666.
- [1.13] Üreyen E. M., Kadoglu H.: Regression estimation of ring cotton yarn properties from HVI fiber properties. *Textile Research Journal*, 76, 5, May 2006, ISSN: 0040-5175.
- [1.14] Sarna E.: Impact of the spinning process on the supermoleculat structure and selected physical properties of fibres. 8<sup>th</sup> *International Cotton Conference in Gdynia*, 22.-23. September 2005, Gdynia – Poland. Proceeding of conference.
- [1.15] Ghane M., Ashitani A.: The effect of length characters of cotton fibres on the hairiness of the yarn. Textile Department, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
- [1.16] Das D: Raw material characteristics vis-a-vis rotor spinning technology: A review. *Fibres and Textiles - Vlákna a textil*, (3) 2004. Ústav polymerních materiálů, FCHPT FPT v Bratislavě, Oddělení vláken a textilu, ISSN: 1335-0617.
- [1.17] Kadoglu H.: Influence of spinning process parameters and cotton fibre characteristics on hairiness of ring spun yarns. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 16, 6 2004, ISSN: 0955-6222.
- [1.18] Basal G., Oxenham W.: Comparison of properties and structures of compact and conventional spun yarns. *Textile Research Journal*, 76, 7, July 2006, ISSN: 0040-5175.
- [1.19] Steadman R. G.: Cotton Testing. *Textile Progress*, Vo. 27, Nr. 1. The Textile Institute 1997, pp. 66, ISSN: 0040-5167; ISBN: 1-870812-85-9.
- [1.20] Mogahzy Y., E., Broughton R., Lznch W. K.: A statistical approach for determining the technological value of cotton using HVI fiber properties. *Textile Research Journal*, 59, 8, September 1990, ISSN: 0040-5175.
- [1.21] Militký J., Křemenáková D.: Comparison of Complex Indices for Cotton Fiber Quality Characterization. Proceeding of *World Cotton Research Conference - 4. Cotton High-Tech Fiber*. 10-14. September 2007, International Textile Center, Texas Tech University, Lubbock Memorial Civic Center, Lubbock, Texas USA. (online) last update 20.11. 2008, dostupné z [www.icac.org/meetings/wcrc/wcrc4/presentations/start.htm](http://www.icac.org/meetings/wcrc/wcrc4/presentations/start.htm).
- [1.22] Militký J., Ibrahim S., Křemenáková: Bimodality of cotton compact yarn hairiness. Proceeding of *Beltwide Cotton Conferences Equipping for Excellence*. January 9-12, 2007, New Orleans, Louisiana, USA, (online) last update 16.4. 2009, dostupné z [www.cotton.org/beltwide/proceedings/2005-2010/data/conferences/2007/papers/5944.pdf#page=1#page=1](http://www.cotton.org/beltwide/proceedings/2005-2010/data/conferences/2007/papers/5944.pdf#page=1#page=1).
- [1.23] Korickij K. I.: Technological economic estimation and design of textile materials quality. Legkaja Industria, Moscow 1983 (In Russian).
- [1.24] Militký, J.: Complex Evaluation of Cotton Fibre Quality. Proc. *World Textile Congress*, Sri Lanka, March 2007. Proceeding of conference.
- [1.25] Ahamed M., H., Lord P., R., Saleh H. A.: A comparison of the hairiness and diameter of ring and open-end yarns. *Textile Research Journal*, 45, 5, May 1975, ISSN: 0040-5175.



- [1.26] Deussen H. and Faerber C.: A Cotton Valuation Model. Proceeding of *Beltwide Cotton Conference*, doplnit 4-7 January 1995, San Antonio USA, (online) last update 16.4. 2009, dostupné z [www.cotton.org/beltwide/proceedings/2005-2010/data/conferences/2007/papers/5944.pdf#page=1#page=1](http://www.cotton.org/beltwide/proceedings/2005-2010/data/conferences/2007/papers/5944.pdf#page=1#page=1).
- [1.27] Estur G.: Quality Requirements on Export Markets for U. S. Cotton. International Cotton advisory Committee, Washington, DC. (online) last update: 31.5. 2011, dostupné z [www.icac.org/cotton\\_info/speeches/](http://www.icac.org/cotton_info/speeches/).
- [1.28] Uster Statistic. (online) last update 25.6.2011, dostupné z <http://www.uster.com>.
- [1.29] Barella A.: The hairiness of yarn: The review of the literature and a survey of the present position. *Journal of Textile Institute*, Vo. 57, No. 10. October 1966, ISSN: 0040-5000.
- [1.30] Barella A., Manich A. M.. Yarn Hairiness: A Further Update. *Textile Progress*, Vo. 31, Nr. 4. The Textile Institute 2002, pp. 44, ISBN: 1 87037 249 2, ISSN: 1754-2278.
- [1.31] Barella A.: Yarn Hairiness: A survey of recent literature and a description of a new instrument for measuring yarn hairiness. *Journal of Textile Institute*, Vo. 61, No. 9 September 1970, ISSN: 0040-5000.
- [1.32] Barella A.: Recent developments in yarn – hairiness studies. *Journal of Textile Institute*, Vo. 64, No. 10. November 1973, ISSN: 0040-5000.
- [1.33] Barella A.: Yarn – Hairiness Studies To – Day. *Journal of Textile Institute*, Vo. 66, No. 10. October 1975, ISSN: 0040-5000.
- [1.34] Barella A., Manich A. M.. Yarn Hairiness Update. *Textile Progress*, Vo. 26, Nr. 4. The Textile Institute 1997, pp. 29, ISSN: 1754-2278.
- [1.35] Lang J., Shukang Z., Pan N.: Change of yarn hairiness during winding process: Analysis of the protruding fiber ends. *Textile Research Journal*, 76, 1, Januar 2006, ISSN: 0040-5175.
- [1.36] Barella A., Ruiz - Cuevas M.: Application of yarn hairiness measurement techniques to the control of gassing or singeing. *Journal of Textile Institute*, Vo. 49, No. 1. 1958, ISSN: 0040-5000.
- [1.37] Howard L., T., James, M. Z.: Size lubrication methods for air-jet-spun and ring-spun warp yarns. *Textile Technology, The Journal of Cotton Science* Vo. 4: Issue 2, pp. 112 – 123, 2000. (online) last update 1. 4. 2011, dostupné z © The Cotton Foundation 2000, <http://www.cotton.org/journal>.
- [1.38] Chang L., Wang X.: The hairiness features of new yarns. Diploma thesis, School of Engineering and Technology, Deakin University, Geelong Victoria 3217, Australia.
- [1.39] Barella A.: The Hairiness of Yarn. *Textile Progress*, Vo. 24, Nr. 3, The Textile Institute 1993, pp. 46, ISBN: 1870812530. ISSN:1754-2278.
- [1.40] Krifa M., Ethridge M. D.: Compact spinning effect on cotton yarn quality interaction with fiber characteristic. *Textile Research Journal*, 76, 5, May 2006, ISSN: 0040-5175.
- [1.41] Dönmez S., Marmarali A.: A model for predicting a yarn's knittability. *Textile Research Journal*, 74, 12, Dezember 2004, ISSN: 0040-5175.
- [1.42] Viswanathan G., Munshi V., G., Ukidve A., V., Chandran K.: Comparative evaluation of yarn hairiness by different methods. *Textile Research Journal*, 58, 8, August 1988, ISSN: 0040-5175.
- [1.43] Adanur S., Bakhtiyarov S.: Characterization of air-yarn interface in air-jet weaving. National Textile Center, Annual Report – NTC Project F99 - AE10. November 2002. (online) last update 1. 4. 2011, dostupné z [www.eng.auburn.edu/department/te/ntc](http://www.eng.auburn.edu/department/te/ntc).
- [1.44] Lappage J., Onions J., W.: Instrument for the study of yarn hairiness. *Journal of Textile Institute*, Vo. 55, No. 8. August 1964, ISSN: 0040-5000.
- [1.45] Neckář B.: Teoretický model chlupatosti příze, metodika jeho využití a výpočetní program „Chlupatost-1“. Interní výzkumná zpráva, TU Liberec 2000.
- [1.46] Neckář B., Voborová J.: A new Approach for Determination of Yarn hairiness. *3<sup>rd</sup> Autex conference*, Necessary Condition for Development of Civilization, June 2003 Gdansk, Poland, ISBN: 83-89003-32-5.
- [1.47] Militký J., Ibrahim S., Ylmas D., Goktepe F.: Bimodality of the cotton compact yarn hairiness index. *2<sup>nd</sup> International conference TexCo*. Technická Univerzita Liberec a Texticom Rožumberok 16.8. – 18.7. 2006, Rožumberok, Slovensko, ISBN: 80-7372-135-X.
- [1.48] Militký J., Ibrahim S.: Yarn Hairiness Complex Characterization. *The Fiber Society Spring 2005 Conference*, The Fiber Society, USA. St. Gallen, Switzerland 2005. Proceeding of conference.
- [1.49] Otsu N.: A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 9, No. 1, 1979, pp. 62-66, ISSN: 0018-9472.
- [1.50] Mohamed, M., H., Lord, P., R., Saleh, H., A.: A comparison of the hairiness and diameter of ring and open-end yarns. *Textile Research Journal*, Vol. 45, No. 5, May 1975. ISSN: 0040-5175.
- [1.51] Suh M. W., Jasper W., Gunay M.: 3-D Electronic imaging of fabric qualities by on line yarn data. National Textile Center, Project S01-NS12, Annual report, November 2004. (online) last update 1.4. 2011, dostupné z <http://www.ntcresearch.org/>.

## 8. Summary

Hairiness is typical for staple yarns and it is usually characterized by the amount of free fibres (short fibre ends, fibre loops and long flying fibres) protruding from the compact body of yarn towards the outer surface. There are various criteria for yarn hairiness quantification. It is typically based on total number of hairs protruding from yarn surface or on its length in given category defined by distance from yarn surface. Main aim of this work is to study the structure and properties of yarns, to obtain knowledge about the behaviour of yarns and verify the significance of selected factors influencing the quality of yarn or its hairiness, to verify and correct models or predictive equations for yarn hairiness estimation. The following steps were realized to achieve given objectives: bibliography search of current state, design and realization of experiment, powerful statistical analysis of experimental data, design and verification of prediction model for yarn hairiness estimation.

There exist a lot of physical principles for observing yarn hairiness. Bibliography review of existing testing methodologies from the first laboratory procedures to current sophisticated techniques is given in the work. There are two instruments commonly used for experimental evaluation of yarn hairiness. The first is the Zweigle hairiness tester which counts the number of hairs exceeding from 1 mm up to 25 mm length from the compact body of yarn and the second is Uster tester with additional hairiness sensor which measures the cumulative length of all protruding fibres over one cm length of yarn. These instruments together with new method based on image analysis were used to analyse the hairiness of yarns sets in experimental part. This new method was verified and modified from the point of view of experimental arrangements and data processing.

The significance of influencing factors was considered in systematic sets of yarns. Quality of Novaspun yarns, fabrics and finished products made from these yarns was compared with conventional ring yarn from current system of production, fabrics and finished products respectively. Multivariate powerful statistical data analysis was realized and analysis of variance ANOVA 1, ANOVA2, correlation analysis and principal components analysis PCA and cluster analysis were used. The results show that the quality of fibers, the level of technological parameters (yarn count, yarn twist and twist coefficient) together with the production technology affects yarn hairiness significantly.

Yarns produced from lower quality cotton fibers show the higher yarn hairiness. The synthetic yarns have higher hairiness than cotton yarns. The basic tendency of yarn behavior and relationship between yarn count, yarn twist, yarn twist coefficient, yarn packing density, yarn diameter, yarn hairiness and yarn mechanical parameters were experimentally verified. Production technology was evaluated as a complex. Classical ring yarns, open-end spun yarns and Novaspun yarns were analyzed. The influence of technological process segments was assessed in case of Novaspun technology and open-end technology. It was confirmed, that Novaspun yarns are comparable with classical ring spun yarn in terms of structure, quality and behavior. Comparison of classical ring spun yarns with open-end spun yarns, which are typical with more close structure and belt fibers on the surface, show the typical differences given by the diversity in technological processes.

There are two approaches, which can be used for yarn hairiness modelling (probabilistic and stochastic). Probabilistic model of fibres distribution in sphere of yarn hairiness is based on the methodology introduced by Lappage and Onionse, which was modified by Barella and generalized by Neckář. Militký was the first, who apply the theory of time series processing to yarn hairiness data analysis. Both approaches were proved on experimental data. The bimodality of yarn hairiness was verified. Regression model for yarn hairiness estimation was designed and was precised.



Vydala Textilní fakulta, Technické univerzity v Liberci  
jako interní publikaci pod pořadovým číslem DFT/4/2012  
v počtu 20 výtisků.