

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Katedra textilních struktur

Projektování vlastností délkových textilií

Habilitační práce

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146071300

Liberec, 2002

Doc. Ing. Ján Marko, CSc.

KAC

tab. grafy
195A-145A příl.

U 364

T

Projektování vlastností délkových textilií

Anotace

V teoretické části práce je řešena intenzita kroucení multifilu a staplové příze, je vypracován exaktní model pevnosti příze a fenomenologicky jsou stanoveny regresní funkce geometrických a fyzikálních veličin česaných přízí. Teoretické poznatky jsou aplikovány při stanovení objektivních zákrutových standardů a při projektování geometrických a fyzikálních vlastností česaných přízí.

Klíčová slova:

jemnost, zákrut, exponent kroucení, koeficient zákrutu, zákrutový standard, pevnost příze.

Projektování vlastností délkových textilií

Anotace

V teoretické části práce je řešena intenzita kroucení multifílu a staplové příze, je vypracován exaktní model pevnosti příze a fenomenologicky jsou stanoveny regresní funkce geometrických a fyzikálních veličin česaných přízí. Teoretické poznatky jsou aplikovány při stanovení objektivních zákrutových standardů a při projektování geometrických a fyzikálních vlastností česaných přízí.

Klíčová slova:

jemnost, zákrut, exponent kroucení, koeficient zákrutu, zákrutový standard, pevnost příze.

Projecting of linear Textile Properties

Annotation:

The theoretical part of this work deals with intensity of twisting of multi-filament and staple yarns. An exact model for yarn strength is worked out and phenomenological regression functions describing the geometrical and physical properties of combed yarns are introduced. The theoretical information is applied for determination of standardized twist, geometrical and physical properties of combed yarn.

Key words: fineness, twist, twist exponent, twist coefficient, standardized twist, yarn strength.

1. ÚVODNÍ ČÁST

1.1 Obsah

1. Úvodní část.....	3
1.1 Obsah.....	3
1.2 Seznam použitých symbolů.....	5
1.3 Seznam použité literatury	9
1.4 Úvod	11
1.5 Základní charakteristiky délkového vlákenného útvaru.....	13
1.6 Jednotky a rozměr veličin.....	19
1.7 Typy použitých regresí	24
1.7.1 Regresní funkce typu $A(\alpha)$	25
1.7.2 Regresní funkce typu $A(\alpha^*)$	28
1.7.3 Fyzikální rozměr regresních konstant	31
2. Teoretická část.....	33
2.1 Intenzita kroucení délkového vlákenného útvaru.....	33
2.1.1 Intenzita kroucení multifilu	43
2.1.2 Intenzita kroucení staplové příze.....	53
2.1.3 Linearizovaná korelační regrese.....	64
2.1.3.1 Analytické řešení linearizované korelační regrese	66
2.1.3.2 Numerické řešení linearizované korelační regrese	68
2.1.3.3 Aplikace nelineárního regresního modelu.....	75
2.1.3.4 Porovnání regresních modelů.....	76
2.2 Geometrický model vlněné česané příze	78
2.2.1 Intenzita kroucení vlněné česané příze.....	78
2.2.2 Průměr vlněné česané příze	86
2.2.3 Zaplnění vlněné česané příze.....	89
2.2.4 Seskání vlněné česané příze	92
2.2.5 Radiální stlačitelnost vlněné česané příze	95
2.2.6 Intenzita zpevnění vlněné česané příze	100
2.2.7 Závěr ke geometrickému modelu vlněné česané příze.....	102
2.3 Geometrický model konvertorové příze	104
2.3.1 Příprava empirických dat.....	104
2.3.2 Výsledky regresních řešení.....	107
2.3.2.1 Intenzita zákrutu konvertorové příze.....	108
2.3.2.2 Průměr konvertorové příze	108
2.3.2.3 Zaplnění konvertorové příze.....	109

2.3.2.4 Seskání konvertorové příže	109
2.3.2.5 Radiální stlačitelnost konvertorové příže	109
2.3.2.6 Intenzita zpevnění konvertorové příže	110
2.4 Geometrický model bavlněné česané příže	110
2.4.1 Příprava empirických dat	111
2.4.2 Výsledky regresních řešení	113
2.4.2.1 Intenzita zákrutu bavlněné česané příže	114
2.4.2.2 Průměr bavlněné česané příže	115
2.4.2.3 Zaplnění bavlněné česané příže	115
2.4.2.4 Seskání bavlněné česané příže	115
2.4.2.5 Radiální stlačitelnost bavlněné česané příže	116
2.4.2.6 Intenzita zpevnění bavlněné česané příže	116
2.5 Porovnání geometrických modelů česaných přízí	116
2.5.1 Porovnání česaných vláknenných stužek	119
2.5.2 Kvalitativní porovnání česaných přízí	122
2.5.3 Kvantitativní porovnání česaných přízí	128
2.6 Pevnost příže	139
2.6.1 Model třecí pevnosti	139
2.6.2 Model pevnosti příže	149
2.6.3 Aplikace modelu pevnosti příže	154
2.6.4 Jednotky a rozměr veličin	157
3. Aplikační část	159
3.1 Zákrutové standardy vlněné česané příže	159
3.1.1 Geometrický zákrutový standard	159
3.1.2 Fyzikální zákrutový standard	161
3.1.3 Porovnání zákrutových standardů	162
3.1.3.1 Porovnání zákrutového standardu na bázi α_F s geometrickým a fyzikálním	164
3.1.3.2 Porovnání zákrutového standardu na bázi α_K s geometrickým a fyzikálním	170
3.1.3.3 Porovnání geometrického a fyzikálního zákrutového standardu	173
3.2 Predikční funkce vlněné česané příže	175
3.3 Projektování vlastností příže	179
3.3.1 Projektování vlastností vlněné česané příže	182
4. Závěr	186
5. Přílohy	

1.2 Seznam použitých symbolů

a [1]	– tažnost příze
a, b	– parametry aproximační přímky
a, b, c, d, e	– parametry regresních funkcí
A	– obecná veličina charakterizující vlastnost nebo stav příze
$\hat{A}$	– obecná veličina charakterizující vlastnost nebo stav příze na mezi její pevnosti
$A(\alpha), A(\alpha^*)$	– typy regresních funkcí
C [1]	– štíhlost vlákna
d [m]	– průměr vlákna
d, h	– indexy mezních hodnot veličin
D [m]	– průměr DVÚ
D_0 [m]	– průměr nezakrouceného DVÚ
D_p [m]	– ekvivalentní průměr vlákenné stužky
D_s [m]	– substanční průměr DVÚ
D^2 [1]	– koeficient determinace
E [Pa]	– modul pružnosti vlákna
$E(\varepsilon)$ [Pa]	– modul radiální stlačitelnosti příze
f [1]	– součinitel statického mezivláknenného tření
f	– fibrila, zkrácený název pro nekonečné elementární vlákno
F [Ntex ⁻¹]	– měrná pevnost příze
F_t [Ntex ⁻¹]	– měrná třecí pevnost příze
g [1]	– exponent zpevnění
g [ms ⁻²]	– zemské gravitační zrychlení
I [1]	– charakteristika směrového uspořádání vláken
J [m ⁴]	– moment setrvačnosti plochy průřezu vlákna
k [1]	– Schwarzova konstanta
K [1]	– projektová konstanta
K_z [ktex ^{-z} m ⁻¹]	– rozměrová konstanta v aproximační funkci $Z_0(T)$
l [m]	– staplová délka vláken
l [m]	– délka DVÚ po zakroucení
l_0 [m]	– délka DVÚ před zakroucením
L [m]	– délka modelového úseku příze
L [km]	– tržná délka DVÚ
MEP	– střední kvadratická chyba predikce
n [1]	– počet prvků v datovém souboru

n [1]	– počet vláken v přízi
n_0 [1]	– počet vláken ve vlákenné stužce
N [1]	– počet kontaktů ve svazku vláken
p [Pa]	– kontaktní tlak mezi vlákny
p_n [N]	– elementární normálová síla
p_t [N]	– elementární třecí síla
p_{ta} [N]	– elementární třecí pevnost
$p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6$	– parametry regresních funkcí
P [N]	– pevnost příze
P_t [N]	– třecí pevnost příze
q [1]	– exponent kroucení
q_0 [1]	– optimální exponent kroucení
R [1]	– koeficient korelace
R_a [%]	– bodová relativní chyba regrese
s [m ²]	– substanční plocha vlákna
S [m ²]	– substanční plocha příze
t [tex]	– jemnost vlákna
T [tex]	– jemnost DVÚ
$\tilde{T}$ [tex]	– plošná jemnost DVÚ
$\overset{o}{T}$ [tex]	– geometrický průměr jemností příze
T_k [ktex]	– jemnost příze v kilotexech
T_0 [tex]	– jemnost nezakrouceného DVÚ
T_p [tex]	– jemnost vlákenné stužky
T_B [tex]	– jemnost bavlněné příze
T_T [tex]	– jemnost směsové příze vl/PES (45/55)
u, v, w	– parametry aproximační funkce $\mu(T; Z)$
V [m ³]	– objem modelového úseku příze
z [1]	– exponent v aproximační funkci $Z_0(T)$
Z [m ⁻¹]	– zákrut
Z^* [m ⁻¹]	– transformovaný zákrut
Z_l [m ⁻¹]	– zákrut latentní (strojový)
Z_B [m ⁻¹]	– projektovaný zákrut bavlněné příze
Z_F [m ⁻¹]	– standardní zákrut na bázi α_F
Z_K [m ⁻¹]	– standardní zákrut na bázi α_K
Z_T [m ⁻¹]	– projektovaný zákrut směsové příze vl/PES (45/55)
Z_α [m ⁻¹]	– standardní zákrut na bázi α

Z_η [m ⁻¹]	– standardní zákrut na bázi ψ
Z_φ [m ⁻¹]	– standardní zákrut na bázi κ
DEK [1]	– dílčí efektivnost kroucení
FEK [1]	– fyzikální efektivnost kroucení
GEK [1]	– geometrická efektivnost kroucení
$\overline{DEK}_f$ [1]	– střední hodnota dílčích fyzikálních efektivností kroucení
$\overline{DEK}_g$ [1]	– střední hodnota dílčích geometrických efektivností kroucení
$\overline{DEK}_{fg}$ [1]	– střední hodnota dílčích geometrických a fyzikálních efektivností kroucení
$DV\dot{U}$	– délkový vlákenný útvar
$RAGP$	– test významnosti rozdílu aritmetického a geometrického průměru
α [ktex ^q m ⁻¹]	– koeficient zákrutu
α^* [ktex ^q m ⁻¹]	– transformovaný koeficient zákrutu
$\tilde{\alpha}$ [tēx ^q m ⁻¹]	– plošný koeficient zákrutu
α_h [1]	– koeficient zákrutu jako funkce $\alpha_h(T_0; \rho; Z)$, $q=1/2$
α_l [1]	– koeficient zákrutu jako funkce $\alpha_l(T_0; \rho; Z_l)$, $q=1/2$
α_F [ktex ^{2/3} m ⁻¹]	– koeficient zákrutu podle Phrixe
α_F^* [ktex ^{2/3} m ⁻¹]	– transformovaný koeficient zákrutu podle Phrixe
$\hat{\alpha}_F$ [ktex ^{2/3} m ⁻¹]	– modifikovaný koeficient zákrutu podle Phrixe
$\tilde{\alpha}_F$ [tēx ^{2/3} m ⁻¹]	– plošný koeficient zákrutu podle Phrixe
α_K [ktex ^{1/2} m ⁻¹]	– koeficient zákrutu podle Koechlina
α_K^* [ktex ^{1/2} m ⁻¹]	– transformovaný koeficient zákrutu podle Koechlina
$\hat{\alpha}_K$ [ktex ^{1/2} m ⁻¹]	– modifikovaný koeficient zákrutu podle Koechlina
$\tilde{\alpha}_K$ [1]	– plošný koeficient zákrutu podle Koechlina
β [°]	– měřený úhel stoupání ovinů povrchového vlákna multifilu
β_d [°]	– úhel stoupání ovinů reálného povrchového vlákna DVÚ
β_D [°]	– úhel stoupání ovinů fiktivního povrchového vlákna DVÚ
δ [1]	– seskání DVÚ
∂x [1]	– výběrová chyba
$\delta \bar{x}$ [1]	– poměrný rozdíl aritmetického a geometrického průměru množiny čísel

ε [1]	– poměrná radiální stlačitelnost příze
η [1]	– poměrná intenzita kroucení na bázi ψ
κ [1]	– intenzita zákrutu
λ [m ²]	– plocha mezivláčenného kontaktu
μ [1]	– zaplnění DVÚ
ν [1]	– počet stupňů volnosti
ρ [kgm ⁻³]	– hustota vlákna
σ [Pa]	– napětí
τ [tex]	– ekvivalentní jemnost příze
φ [1]	– poměrná intenzita kroucení na bázi κ
φ_F [1]	– poměrná intenzita kroucení na bázi α_F
φ_K [1]	– poměrná intenzita kroucení na bázi α_K
φ_n [1]	– normativní poměrná intenzita kroucení
φ_α [1]	– poměrná intenzita kroucení na bázi α
ϕ [tex ^{1/2} m]	– rozměrový faktor vláken
χ [tex ^{g/2} m ^g]	– koeficient pevnosti příze
ψ [1]	– intenzita zpevnění příze

1.3 Seznam použité literatury

- [1] Neckář, B.: Tvorba, struktura, vlastnosti. SNTL Praha, 1990.
- [2] Koludžič, B.: Text. Ind. 13, 1965, s. 251
- [3] Müller, E.: Handbuch der Spinnerei. Berlin, 1892.
- [4] Meloun, M. – Militký, J.: Statistické zpracování experimentálních dat. Plus Praha, 1994.
- [5] ČSN 80 2120: Režné jednoduché bavlnářské příze. ÚNM Praha, 1967.
- [6] ON 80 2320: Zákruty česaných přízí vlněných jednoduchých a skaných. Oborové normalizační středisko při VÚV Brno, 1964.
- [7] Budnikov, V.I. et al.: Osnovy prjadenija. Čast' 2. Moskva 1945.
- [8] Marko, J.: Jádrová skaná nit. Kandidátská disertační práce. VŠST Liberec, 1990.
- [9] Solovjev, A.N.: Projektirovanije svojstv prjaži v chlopčatobumažnom proizvodstve. Moskva, 1951.
- [10] Usenko, V.A.: Ispolzovanije viskozno štapelnovo volokna. Moskva 1958.
- [11] Berezina, O.J.: Technol. text.prom. , 1958, č.5, s.19.
- [12] Hearle, J.W.S.: Text. Res. J. 35, 1965, s.1060.
- [13] Wyk, C.M. van: J. Text. Inst. 37, 1946, s. T 285.
- [14] Höschl, C.: Pružnost a pevnost ve strojnictví. SNTL Praha, 1971.
- [15] Goswami, B.C. – Mardindale, J.G. – Scardino, F.L.: Textille Yarns. New York, London, Sydney, Toronto, 1977.
- [16] Vaverka, J. – Machuta, K. – Rybníkář, J.: Teorie a praxe předení ve vlnářském průmyslu. Česaná příze. SNTL Praha, 1990.
- [17] Ursíny, P.: Spřádání bavlnářským způsobem. I. a II. díl. Učební texty VŠST, Liberec 1991.
- [18] Farkaš, P.: Geometrická struktura příze. Diplomová práce. VŠST Liberec, 1992.
- [19] Likeš, J. – Laga, J.: Základní statistické tabulky. SNTL Praha, 1978.
- [20] Militká, D. – Militký, J.: Statistická analýza výsledků měření. In.: Zborník prednášok, Dom techniky, ČSVTS Žilina. Čingov, 1987.
- [21] Marko, J.: Vliv koeficientu zákrutu na užité vlastnosti plošných textilií. In.: 3. pracovní seminář Struktex 97, TU Liberec, 1997.
- [22] Marko, J.: Intenzita zákrutu vlněných přízí česaných. In.: 4. pracovní seminář Strutex, TU Liberec, 1998.
- [23] Marko, J.: Pevnost příze. In.: 5. pracovní seminář. Strutex, TU Liberec, 1998.
- [24] ČSN 80 0050: Jemnost délkových textilií v soustavě tex. ÚNM Praha, 1973.
- [25] Ursíny, P.: Stroje a technologie dopřádání I. Učební texty, VŠST Liberec, 1984.

- [26] Klemm – Riehl – Siegel – Troll.: Statistische Kontrollmethoden in der Textiliindustrie. Fachbuchverlag Leipzig, 1967.
- [27] Marko, J.: Model pevnosti příze. In.: 6. národní konference Strutex, TU Liberec, 1999.
- [28] Rietter Konzerngruppe Textilmaschinen: Dokumentation der Stapelfaser-Spinnerei. str. 103.
- [29] Schwarz, E.R.: J. Text. Inst., 24, T 105, 1933.
- [30] Neckář, B.: Tvorba a struktura příze. Doktorská disertační práce. SVÚT a VŠST Liberec, 1987.
- [31] Marko, J.: Projektování vlastností příze. In.: 8.národní konference Strutex, TU Liberec, 2001.

1.4 Úvod

Každý technologický výzkum je založen na studiu účinku mechanického, tepelného, chemického, nebo jiného technologického působení na zpracovávanou surovinu, poloprodukt, nebo hotový výrobek. Výsledkem technologického působení na výrobní předlohu je výrobek žádaných užitečných vlastností, charakterizovaných geometrickými, fyzikálními nebo jinými vhodně definovanými veličinami. Funkční závislosti, jejímž prostřednictvím lze předpovědět sledovanou vlastnost výrobku jako funkci intenzity technologického působení na výrobní předlohu, se obvykle říká predikční funkce. Větší aplikační význam než samotná predikční funkce má její funkce inverzní, z níž lze vyjádřit potřebnou intenzitu technologického působení jako funkci požadované vlastnosti výrobku. Činnost, která je zaměřena na stanovení intenzity technologického působení na výrobní předlohu potřebné k docílení žádané vlastnosti výrobku, se nazývá projektování.

Finální technologickou operací výroby příze, která je hlavním reprezentantem délkových textilií, je dopřádání, prováděné převážně na prstencových dopřádacích strojích. Konstrukce těchto strojů umožňuje měnit rychlost vláknenného toku a otáčky vřeten a tím vypřádat přízi žádané jemnosti a počtu zákrutů. Z uvedeného plyne, že nezávislými, tudíž volitelnými veličinami procesu předení, jsou jemnost příze, od přijetí SI soustavy definovaná délkovou hmotností, a zákrut, definovaný jako počet vzájemných pootočení koncových průřezů příze jednotkové délky. Z této skutečnosti je zřejmé, že jemnost a zákrut jsou nezávisle proměnnými veličinami predikčních funkcí, jejichž znalost je podmínkou nutnou pro možnost projektování vlastností daného druhu příze. Ze stručného popisu procesu dopřádání také plyne, že prstencový dopřádací stroj na útvar paralelně uspořádaných vláken působí mechanicky, jmenovitě jeho protažením a zakroucením.

Na rozdíl od plného (spojitého) kovového nebo plastového válcového útvaru zakroucený vláknenný útvar je v radiálním i axiálním směru porózní, tudíž jeho objem je vyplněn jak vláknennou hmotou, tak také vzduchovými mezerami. V důsledku této pórovitosti a v důsledku tvorby prostorových ovinů elementárních vláken kroucený vláknenný útvar vykazuje radiální a axiální deformaci. Tyto deformace způsobují, že veličiny charakterizující torzní namáhání krouceného vláknenného útvaru, jmenovitě zákrut a intenzita zákrutu, nabývají řádově větších hodnot než zkrut a zkos torzně namáhaných plných válcových těles. Z kvalitativního srovnání plyne, že zkos plného válcového tělesa je lineární funkcí jeho průměru a zkrutu, kdežto intenzita zákrutu, jakož i ostatní geometrické a fyzikální veličiny kroucených vláknenných útvarů, jsou v důsledku torzních deformací nelineárními funkcemi jemnosti a zákrutu. Tyto

skutečnosti svědčí o velké teoretické i experimentální náročnosti řešení mechaniky kroucení délkových vlákenných útvarů.

V předložené práci jsou prezentovány predikční funkce intenzity zákrutu, průměru, zaplnění, seskání a nově zavedených veličin, jmenovitě poměrné radiální stlačitelnosti a intenzity zpevnění vlněné, konvertorové a bavlněné česané příze. Z důvodu již komentovaných torzních deformací při předení příze jsou predikční funkce všech vyjmenovaných veličin nelineární. S použitím nelineárních predikčních funkcí v obecném tvaru byl vypracován matematický model projektování obecné vlastnosti příze. Z tohoto modelu aplikací reálných parametrů predikčních funkcí byl odvozen matematický model projektování vlastností vlněné česané příze, která má prioritní postavení v práci. Protože v počátečním stadiu řešení uvedené problematiky na fakultě ještě nebyly k dispozici výpočetní programy pro řešení nelineárních regresních úloh, byl vypracován a použit původní model linearizované korelační regrese, kterému je věnována samostatná kapitola. Zákonitosti mechaniky kroucení svazku nekonečných vláken jsou jiné než u vláken staplových, a z toho důvodu problematika projektování vlastností multifilů byla řešena v samostatné kapitole. Ryze teoretický charakter mají statě, ve kterých je řešen exaktní model pevnosti příze.

1.5 Základní charakteristiky délkového vlákenného útvaru

Stavebními prvky délkového vlákenného útvaru, dále jen DVÚ, jsou elementární vlákna buď nekonečná, nebo staplová. Základními charakteristikami obou druhů vláken jsou jejich hustota ρ , jemnost t , u staplových vláken také jejich staplová délka l . Jemnost vlákna se vyjadřuje délkovou hmotností, nazývanou také lineární hustotou, tj. podílem hmotnosti m a délky l vlákna podle vztahu

$$t = \frac{m}{l} \quad (1.1)$$

Vyjádříme-li hmotnost vlákna součinem plochy s jeho příčného řezu, označené názvem substanční plocha, délky l a hustoty ρ , potom pro jemnost také platí

$$t = s\rho \quad (1.2)$$

Pro průměr d vlákna kruhového průřezu ze vztahu (1.2) obdržíme

$$d = \sqrt{\frac{4t}{\pi\rho}} \quad (1.3)$$

Jestliže vlákno není kruhového průřezu, potom průměr d podle vztahu (1.3) je jeho ekvivalentním průměrem. Ze vztahů (1.2) a (1.3) vyplývá, že z geometrického hlediska definování jemnosti délkovou hmotností není nejvhodnější, protože vlákna o stejné jemnosti ale rozdílné hustoty mají rozdílné příčné rozměry.

Jestliže DVÚ o počtu n elementárních vláken zakroutíme za podmínek kroucení s pevným koncem a při konstantním napětí, vlivem spotřeby délky vláken na tvorbu ovinů se zkrátí jeho délka a účinkem radiálních sil dojde k jeho příčnému stlačení a ke vzájemnému přiblížení elementárních vláken. K veličinám popisujícím geometrický stav DVÚ, případně změny jeho geometrického stavu, patří jemnost T , průměr D , seskání δ , zaplnění μ , zákrut Z , intenzita zákrutu κ , koeficient zákrutu α , poměrná radiální stlačitelnost ε , pevnost P , měrná pevnost F a další.

Jemnost. Jemnost DVÚ se vyjadřuje také délkovou hmotností, tj. hmotností připadající na jednotku jeho délky. Použijeme-li pro sumární plochu elementárních vláken v příčném řezu DVÚ symbol S a termín substanční plocha, analogicky k výrazům (1.1) a (1.2) pro DVÚ platí

$$T = \frac{m}{l} \quad (1.4)$$

$$T = S\rho \quad (1.5)$$

Jestliže bychom sumární substanční plochu vláken vměstnali do homogenní kruhové plochy o průměru D_s , označeného termínem substanční průměr, jeho velikost lze vypočítat ze vztahu

$$D_s = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4T}{\pi\rho}} \quad (1.6)$$

Jak již bylo konstatováno u vláken, jemnost vyjádřena pomocí délkové hmotnosti necharakterizuje příčné rozměry DVÚ. Pro potřeby práce proto zavádím plošnou jemnost $\tilde{T}$, definovanou jako tisícinásobek substanční plochy S podle vztahu

$$\tilde{T} = 1000 S \quad (1.7)$$

Ze vztahů (1.5) a (1.7) vyplývá, že také platí

$$\tilde{T} = 1000 \frac{T}{\rho} \quad (1.8)$$

Zaplnění. V radiálním řezu DVÚ se vyskytují řezné plochy elementárními vlákny a mezivláknenné plochy. Čím jsou větší mezivláknenné plochy, tím je DVÚ poróznější a objemnější. Zaplnění μ DVÚ bylo definováno jako podíl substanční plochy S z celkové plochy příčného řezu S_ϕ podle vztahu

$$\mu = \frac{S}{S_\phi} \quad (1.9)$$

Zavedeme-li předpoklad, že plocha S_ϕ je kruhová s průměrem D a zohledníme vztah pro výpočet plochy kruhu, dále vztahy (1.5) a (1.6), dovodíme, že také platí

$$\mu = \frac{D_s^2}{D^2} = \frac{4S}{\pi D^2} = \frac{4T}{\pi\rho D^2} \quad (1.10)$$

Průměr. Pro průměr DVÚ neexistuje jednotná a jednoznačná definice. S ohledem na přejaté výsledky experimentálního měření průměru příze, při kterém se s vysokou četností opticky měří náhodně vybraný příčný rozměr DVÚ, průměr budeme definovat jako střední hodnotu těchto měření. Podle této představy DVÚ je válec o nekonečné délce a konstantním průměru, rovném střední hodnotě jeho příčných

rozměrů, ve kterém je obsažena veškerá vláknenná hmota. Pro průměr D , vyjádřený ze vztahu (1.10), platí

$$D = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}} \quad (1.11)$$

Z porovnání vztahů (1.11) a (1.6) vyplývá, že $D > D_s$, protože $\mu < 1$.

Seskání. Jak již bylo uvedeno, při kontinuálním i diskontinuálním kroucení s pevným koncem a při konstantním napětí se délka DVÚ v důsledku tvorby vláknenných ovinů zkracuje. Tuto délkovou změnu charakterizuje seskání, které bylo definováno jako kladně pojaté poměné zkrácení. Označíme-li délku DVÚ před zakroucením symbolem l_0 , po zakroucení l , potom definiční vztah pro seskání δ má tvar

$$\delta = \frac{l_0 - l}{l_0} \quad (1.12)$$

Pro délku l potom platí

$$l = (1 - \delta)l_0 \quad (1.13)$$

Protože proces zakrucování probíhá při konstantní hmotnosti m , ze vztahů (1.4) a (1.13) vyplývá, že v důsledku změny délky se mění také jemnost T_p nezakrouceného DVÚ na jemnost T po zakroucení podle vztahu

$$T = \frac{T_p}{1 - \delta} \quad (1.14)$$

Zákrut. Zákrut lze definovat buď strukturálně jako počet ovinů elementárních vláken na jednotku délky, nebo technologicky. Předmět studia této práce jednoznačně vyžaduje hledisko technologické, orientované na princip zakrucování s pevným koncem a při konstantním napětí. Tento princip kontinuálního zakrucování je aplikován např. na prstencovém dopřádacím stroji anebo na upraveném zákrutoměru, kde za stejných podmínek probíhá zakrucování diskontinuálně.

Do spřádacího místa prstencového stroje je kontinuálně přiváděn nezakroucený DVÚ rychlostí v_0 , krutný orgán do něj vkládá O otáček za jednotku času a zakroucený DVÚ je navinováním kontinuálně odváděn rychlostí v .

Zákrut Z je definován jako počet otáček krutného orgánu na jednotku délky zakrouceného DVÚ podle vztahu

$$Z = \frac{O}{v} \quad (1.15)$$

Při experimentálním měření na upraveném zákrutoměru se upíná délka l_0 DVÚ, konstantní napětí vyvozuje závaží přes volně otočnou kladku, krutnou čelistí se vloží o otáček, odměřená délka po zakroucení je l . Z analogie s kontinuálním zakrucováním zákrut je definován vztahem

$$Z = \frac{o}{l} \quad (1.16)$$

Na prstencovém dopřádacím stroji je identifikovatelná a nastavitelná pouze příváděcí rychlost v_0 , identická s obvodovou rychlostí předního páru válečků průtažného ústrojí. Z toho důvodu pro specifické případy kroucení je nutné zákrut definovat jako počet otáček krutného orgánu na jednotku délky nezakrouceného DVÚ se symbolem Z_l podle vztahů

$$Z_l = \frac{O}{v_0} \quad (1.17)$$

$$Z_l = \frac{o}{l_0} \quad (1.18)$$

Takto definovaný zákrut je v technologické literatuře uváděn jako zákrut strojový, v teoretické literatuře jako latentní, nebo teoretický. Po zohlednění vztahů (1.13), (1.16) a (1.18) platí vzájemná funkční závislost

$$Z = \frac{Z_l}{1-\delta} \quad (1.19)$$

V textilní teorii se velmi čteně používá součin průměru a zákrutu DVÚ, nejčastěji ve tvaru

$$\kappa = \pi DZ \quad (1.20)$$

Veličina κ byla označena termínem intenzita zákrutu.

Další veličinou související se zákrutem je koeficient zákrutu. Tato veličina v kvalitativní shodě s historickou definicí a symbolem α je v obecném tvaru součinem q -té mocniny jemnosti T a zákrutu Z podle vztahu

$$\alpha = T^q Z \quad (1.21)$$

Exponent q byl v československé textilní literatuře označen termínem kvocient zákrutu. Protože tento termín nevystihuje matematickou ani etymologickou podstatu tohoto mocnitele, naši katedrou byl nahrazen smluvním termínem exponent kroucení.

Neckář [1] zavedl plošný koeficient zákrutu, definovaný jako součin q -té mocniny substanční plochy a zákrutu. V analogii s tímto, ale s použitím plošné jemnosti, definujeme tuto veličinu jako součin q -té mocniny plošné jemnosti $\tilde{T}$ a zákrutu Z se symbolem $\tilde{\alpha}$ podle vztahu

$$\tilde{\alpha} = \tilde{T}^q Z \quad (1.22)$$

Historicky nejstarší hodnotu exponentu kroucení $q = 1/2$ publikoval Koechlin [2] již v roce 1828. Koeficienty zákrutu s tímto exponentem označme symboly α_K a $\tilde{\alpha}_K$, jejich definiční vztahy mají tvar

$$\alpha_K = \sqrt{T} Z \quad (1.23)$$

$$\tilde{\alpha}_K = \sqrt{\tilde{T}} Z \quad (1.24)$$

V československých normách pro výpřed standardních přízí byl zaveden a doposud se používá koeficient zákrutu s hodnotou exponentu kroucení $q = 2/3$. Tato hodnota je empirická, začala se používat v průběhu 2. světové války a je svázána se jménem Phrix. Koeficienty zákrutu podle Phrixe se symboly α_F a $\tilde{\alpha}_F$ jsou dány výrazy

$$\alpha_F = T^{2/3} Z \quad (1.25)$$

$$\tilde{\alpha}_F = \tilde{T}^{2/3} Z \quad (1.26)$$

Ze specifických důvodů pro svazek nekonečných vláken v práci zavádím koeficient zákrutu α_h a latentní koeficient zákrutu α_l , pro které po zohlednění vztahů (1.5) a (1.19) platí definiční vztahy

$$\alpha_h = \sqrt{S_0} Z = \sqrt{\frac{T_0}{\rho}} Z \quad (1.27)$$

$$\alpha_l = \sqrt{S_0} Z_l = \sqrt{\frac{T_0}{\rho}} Z_l = (1 - \delta) \alpha_h \quad (1.28)$$

kde S_0 a T_0 jsou substanční plocha a jemnost, Z_l latentní zákrut a δ seskání. Z definičních vztahů vyplývá, že jde o plošné koeficienty zákrutu, podle hodnoty exponentu kroucení koechlinovského typu.

Radiální stlačitelnost. Účinkem radiálních sil, které vznikají při procesu kroucení, dochází k radiálnímu stlačování DVÚ. Protože DVÚ má kruhový nebo idealizovaný kruhový průřez, radiální stlačitelnost ε definujeme jako kladně pojatou poměrnou změnu průměru D podle vztahu

$$\varepsilon = \frac{D_p - D}{D_p} \quad (1.29)$$

kde D_p je průměr nebo ekvivalentní průměr DVÚ před zakroucením.

Pevnost. Mechanickou vlastností DVÚ je pevnost P , která je charakterizována silou potřebnou na jeho přetržení. Standardní měření pevnosti se provádí na trhačím přístroji za přesně definovaných podmínek.

Měrná pevnost. Další mechanickou vlastností DVÚ, která zdomácněla v textilní teorii i praxi, je měrná pevnost F , definována jako podíl pevnosti P a jemnosti T . Při zohlednění výrazu (1.9) pro měrnou pevnost platí

$$F = \frac{P}{T} = \frac{P}{S\rho} = \frac{\sigma}{\rho} \quad (1.30)$$

kde σ je napětí definováno jako síla P působící na substanční plochu S .

V historických pracích, např. [3], pro měrnou pevnost byla zavedena a doposud se používá veličina tržná délka L , vyjadřující délku, při které se DVÚ přetrhne vlastní tíhou. Při zohlednění vztahu (1.30) pro tržnou délku platí

$$L = \frac{P}{Tg} = \frac{F}{g} \quad (1.31)$$

kde g je zemské gravitační zrychlení.

Z hlediska vzájemné nezávislosti vyjmenovaných veličin jsou kvalitativně rozdílné poměry u multifilu a u staplové příze. Předloha multifilu o jemnosti T_0 je opatřena

malým ochranným zákrutem Z_0 zajišťujícím separaci jednotlivých ovinů na jednotce vinutí. Protože v důsledku změny délky krouceného multifilu dochází ke změně jeho jemnosti podle vztahu (1.14), nezávislou, v intervalu standardizované řady jemností volitelnou veličinou, je jemnost předlohy T_0 . Další nezávislou veličinou multifilu, charakterizující druh chemického vlákna, je jeho hustota ρ . Při kontinuálním zakrucování na stroji, u kterého je nastavitelná odváděcí rychlost multifilu, a tudíž udělování zákrutu probíhá podle vztahu (1.15), nezávislou veličinou je zákrut Z . Při kontinuálním zakrucování na stroji s nastavitelnou příváděcí rychlostí multifilu se udělování zákrutu řídí vztahem (1.17) a nezávislou veličinou je zákrut latentní Z_l . Z uvedených skutečností tedy vyplývá, že v závislosti na typu kroucího zařízení vzájemně nezávislými veličinami multifilu jsou:

- při zakrucování s nastavitelnou odváděcí rychlostí: $T_0; Z; \rho$
- při zakrucování s nastavitelnou příváděcí rychlostí: $T_0; Z_l; \rho$.

U klasicky předené příze technické zadávací podmínky pro její výrobu stanovují jemnost T a zákrut Z , odpovídající jemnost T_0 předlohy a zákrut strojový Z_l se vždy doladují experimentálně postupnou výměnou měn čísla a zákrutu. Technickými zadávacími podmínkami je stanoven také druh příze z hlediska přírodní suroviny, tudíž implicitně také hustota ρ vláken. Z uvedeného tedy vyplývá, že vzájemně nezávislými veličinami, které popisují klasicky předanou přízi, jsou T, Z a ρ .

1.6 Jednotky a rozměr veličin

Veličiny popisující DVÚ se vyjadřují ve vhodných jednotkách. Za hlavní jednotky lze považovat ty, ve kterých jsou obsaženy základní jednotky celosvětově závazné Mezinárodní měrové soustavy SI. Mimoto lze užívat také jednotky násobné a dílčí. Základními jednotkami SI soustavy jsou metr, kilogram, sekunda, ampér, kelvin a kandela.

Jemnost. Jemnost T je vyjádřena délkovou hmotností. Její hlavní jednotkou je kgm^{-1} . V textilní oblasti má specifický název – megatex (Mtex). Tato jednotka je pro DVÚ prakticky nepoužitelná. Pro prameny, kabely a rouna se používá jednotka tisíckrát menší s názvem kilotex – $1 \text{ ktex} = 1 \text{ gm}^{-1}$. V textilní praxi nejfrektentovanější jednotkou je miliontina hlavní jednotky s názvem tex – $1 \text{ tex} = 1 \text{ mgm}^{-1} = 1 \text{ gkm}^{-1}$. Pro elementární vlákna se používá desetimiliontá část hlavní jednotky s názvem decitex – $1 \text{ dtex} = 1 \text{ dgkm}^{-1}$ a miliardtina hlavní jednotky s názvem militex – $1 \text{ mtex} = 1 \mu\text{gm}^{-1} = 1 \text{ mgkm}^{-1}$.

Hustota. Hlavní jednotkou hustoty ρ je kgm^{-3} .

Substanční plocha. Hlavní jednotkou substanční plochy S je m^2 . Z praktického hlediska je vhodnější používat dílčí jednotku mm^2 . Platí

$$S [\text{mm}^2] = \frac{T [\text{tex}]}{\rho [\text{kgm}^{-3}]}$$

U běžných přízí se velikost S pohybuje v řádu 10^{-2} mm^2 .

Plošná jemnost. Protože hustota ρ běžných vláken, s výjimkou vláken polypropylenových, je řádu 10^3 kgm^{-3} , plošná jemnost $\tilde{T}$ je zpravidla stejného řádu jako jemnost T , jak vyplývá ze vztahu (1.8). Toto byl hlavní záměr pro definování plošné jemnosti podle vztahu (1.7)

Pro plošnou jemnost zavedme analogické jednotky jako u jemnosti T a označme je symboly $\text{Mt}\tilde{\text{ex}}$, $\text{kt}\tilde{\text{ex}}$, $\text{t}\tilde{\text{ex}}$, $\text{dt}\tilde{\text{ex}}$ a $\text{mt}\tilde{\text{ex}}$. Zavedeným jednotkám jsou ve smyslu vztahů (1.6) a (1.7) odpovídající substanční plochy S a substanční průměry D_S podle následující tabulky. Hlavní jednotkou plošné jemnosti je m^2 ; z tabulkových hodnot $S [\text{m}^2]$ lze odvodit, že její hlavní textilní jednotkou je plošný gigatex se symbolem $\text{Gt}\tilde{\text{ex}}$.

Jednotka	$S [\text{m}^2]$	S	D_S
$\text{Mt}\tilde{\text{ex}}$	$1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	$1 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	35,68248 mm
$\text{kt}\tilde{\text{ex}}$	$1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$	1 mm^2	1,12838 mm
$\text{t}\tilde{\text{ex}}$	$1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$	$1 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$	$3,56825 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$
$\text{dt}\tilde{\text{ex}}$	$1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$	$1 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$	$1,12838 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$
$\text{mt}\tilde{\text{ex}}$	$1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$	$1 \mu\text{m}^2$	1,12838 μm

Průměr a substanční průměr. Hlavní jednotkou průměru D a substančního průměru D_S je m. Praktičtější je dílčí jednotka mm. Platí

$$D_S [\text{mm}] = \sqrt{\frac{4T [\text{tex}]}{\pi \rho [\text{kgm}^{-3}]}}$$

U běžných přízí je D i D_S řádu 10^{-1} mm .

Seskání. Seskání δ je bezrozměrná veličina, tedy s rozměrem [1]. V některých publikacích se δ uvádí v procentech. Pojem v procentech je jiné slovní označení pojmu v setinách, proto ho nelze chápat jako fyzikální rozměr. Seskání nabývá hodnot řádu 10^{-2} až 10^{-1} .

Zaplnění. Zaplnění μ je bezrozměrná veličina, výjimečně vyjádřena v procentech. Platí

$$\mu [1] = \frac{4T [\text{tex}]}{\pi \rho [\text{kgm}^{-3}] D^2 [\text{mm}^2]}$$

Hodnoty μ se pohybují v řádu 10^{-1} .

Zákrut a zákrut latentní. Hlavní jednotkou zákrutu Z i latentního zákrutu Z_l je m^{-1} . Při reálném kroucení zákrut nabývá hodnot od fiktivní nuly až do řádu 10^3m^{-1} .

Intenzita zákrutu. Intenzita zákrutu κ je bezrozměrná veličina, takže platí

$$\kappa [1] = \pi D [\text{m}] Z [\text{m}^{-1}] = 10^{-3} \pi D [\text{mm}] Z [\text{m}^{-1}]$$

Hodnoty κ se pohybují v řádu 10^{-1} až 10^0 .

Koeficienty zákrutu

Koeficient zákrutu α s exponentem kroucení q má hlavní jednotku

$$\text{kg}^q \text{m}^{-(q+1)} = \text{Mtex}^q \text{m}^{-1}$$

Při použití dílčích jednotek pro jemnost platí

$$\alpha [\text{Mtex}^q \text{m}^{-1}] = 10^{-3q} \alpha [\text{ktex}^q \text{m}^{-1}] = 10^{-6q} \alpha [\text{tex}^q \text{m}^{-1}]$$

Plošný koeficient zákrutu $\tilde{\alpha}$ s exponentem kroucení q má hlavní jednotku

$$\text{m}^{2q-1} = \text{Mt}\tilde{\text{ex}}^q \text{m}^{-1}$$

Při použití dílčích jednotek pro plošnou jemnost $\tilde{T}$ platí

$$\tilde{\alpha} [\text{Mt}\tilde{\text{ex}}^q \text{m}^{-1}] = 10^{-3q} \tilde{\alpha} [\text{kt}\tilde{\text{ex}}^q \text{m}^{-1}] = 10^{-6q} \tilde{\alpha} [\text{t}\tilde{\text{ex}}^q \text{m}^{-1}]$$

Koeficient zákrutu α_K **podle Koechlina** s exponentem kroucení $q = 1/2$ má ve smyslu předchozího hlavní jednotku

$$\text{kg}^{1/2} \text{m}^{-3/2} = \text{Mtex}^{1/2} \text{m}^{-1}$$

Při použití dílčích jednotek pro jemnost platí

$$\alpha_K [\text{Mtex}^{1/2} \text{m}^{-1}] = 10^{-3/2} \alpha_K [\text{ktex}^{1/2} \text{m}^{-1}] = 10^{-3} \alpha_K [\text{tex}^{1/2} \text{m}^{-1}]$$

Pro praktické používání je α_K normalizován s rozměrem $\text{ktex}^{1/2}\text{m}^{-1}$. Potom nabývá hodnot řádu 10^1 až $10^2 \text{ktex}^{1/2}\text{m}^{-1}$.

Plošný koeficient zákrutu $\tilde{\alpha}_K$ podle Koechlina je bezrozměrná veličina, pro kterou z analogie s obecným $\tilde{\alpha}$ platí

$$\sqrt{\tilde{T}[\text{Mt}\tilde{\text{e}}\text{x}]} Z[\text{m}^{-1}] = 10^{-3/2} \sqrt{\tilde{T}[\text{kt}\tilde{\text{e}}\text{x}]} Z[\text{m}^{-1}] = 10^{-3} \sqrt{\tilde{T}[\text{t}\tilde{\text{e}}\text{x}]} Z[\text{m}^{-1}]$$

Po zohlednění definičního vztahu (1.8) také platí

$$\sqrt{\tilde{T}[\text{kt}\tilde{\text{e}}\text{x}]} Z[\text{m}^{-1}] = \sqrt{\frac{T[\text{tex}]}{\rho[\text{kgm}^{-3}]}} Z[\text{m}^{-1}]$$

Při použití plošné jemnosti v jednotkách $\tilde{T}[\text{kt}\tilde{\text{e}}\text{x}]$ jsou hodnoty $\tilde{\alpha}_K$ řádu 10^1 až 10^2 .

Koeficient zákrutu α_F podle Phrixe s exponentem kroucení $q = 2/3$ má hlavní jednotku

$$\text{kg}^{2/3}\text{m}^{-5/3} = \text{Mt}\text{ex}^{2/3}\text{m}^{-1}$$

Při použití dílčích jednotek pro jemnost platí

$$\alpha_F[\text{Mt}\text{ex}^{2/3}\text{m}^{-1}] = 10^{-2} \alpha_F[\text{kt}\text{ex}^{2/3}\text{m}^{-1}] = 10^{-4} \alpha_F[\text{tex}^{2/3}\text{m}^{-1}]$$

Pro praktické používání je α_F normalizován s rozměrem $\text{ktex}^{2/3}\text{m}^{-1}$. Potom nabývá hodnot řádu $10^1 \text{ktex}^{2/3}\text{m}^{-1}$.

Plošný koeficient zákrutu $\tilde{\alpha}_F$ podle Phrixe má hlavní jednotku

$$\text{m}^{1/3} = \text{Mt}\tilde{\text{e}}\text{x}^{2/3}\text{m}^{-1}$$

Při použití dílčích jednotek pro plošnou jemnost platí

$$\tilde{\alpha}_F[\text{Mt}\tilde{\text{e}}\text{x}^{2/3}\text{m}^{-1}] = 10^{-2} \tilde{\alpha}_F[\text{kt}\tilde{\text{e}}\text{x}^{2/3}\text{m}^{-1}] = 10^{-4} \tilde{\alpha}_F[\text{t}\tilde{\text{e}}\text{x}^{2/3}\text{m}^{-1}]$$

Obdobně jako u $\tilde{\alpha}_K$ platí

$$(\tilde{T}[\text{kt}\tilde{\text{e}}\text{x}])^{2/3} Z[\text{m}^{-1}] = \left(\frac{T[\text{tex}]}{\rho[\text{kgm}^{-3}]} \right)^{2/3} Z[\text{m}^{-1}]$$

Při použití plošné jemnosti v jednotkách $\tilde{T}[\text{ktex}]$ hodnoty $\tilde{\alpha}_F$ nabývají řádu $10^1 \text{ ktex}^{2/3} \text{ m}^{-1}$.

Koeficient zákrutu α_h je bezrozměrná veličina, pro kterou platí

$$\sqrt{\frac{T_0[\text{Mtex}]}{\rho[\text{kgm}^{-3}]}} Z[\text{m}^{-1}] = 10^{-3/2} \sqrt{\frac{T_0[\text{ktex}]}{\rho[\text{kgm}^{-3}]}} Z[\text{m}^{-1}] = 10^{-3} \sqrt{\frac{T_0[\text{tex}]}{\rho[\text{kgm}^{-3}]}} Z[\text{m}^{-1}]$$

Při použití jemnosti v jednotkách $T_0[\text{tex}]$ hodnoty α_m nabývají řádu 10^1 až 10^2 .

Koeficient zákrutu α_l je bezrozměrná veličina, pro kterou platí

$$\sqrt{\frac{T_0[\text{Mtex}]}{\rho[\text{kgm}^{-3}]}} Z_l[\text{m}^{-1}] = 10^{-3/2} \sqrt{\frac{T_0[\text{ktex}]}{\rho[\text{kgm}^{-3}]}} Z_l[\text{m}^{-1}] = 10^{-3} \sqrt{\frac{T_0[\text{tex}]}{\rho[\text{kgm}^{-3}]}} Z_l[\text{m}^{-1}]$$

Při použití jemnosti v jednotkách $T_0[\text{tex}]$ hodnoty α_l nabývají řádu 10^1 až 10^2 .

Radiální stlačitelnost ε jako poměrná změna průměru je bezrozměrná veličina.

Pevnost, která je charakterizována silou potřebnou na přetržení DVÚ, má hlavní jednotku newton N, definovaný vztahem

$$\text{kgms}^{-2} = \text{N}$$

Napětí. Hlavní jednotkou napětí, jako poměru síly a plochy, je pascal Pa definovaný vztahem

$$\text{Nm}^{-2} = \text{Pa}$$

Měrná pevnost je napětí definované poměrem síly a jemnosti DVÚ. Hlavní jednotkou měrné pevnosti je NMtex^{-1} . Tento rozměr je ekvivalentní s rozměrem Jkg^{-1} , kde $\text{Nm} = \text{J}$ – joule je hlavní jednotkou práce a energie.

Tržná délka. Hlavní jednotkou tržné délky je m. Jestliže pro zemské gravitační zrychlení použijeme hodnotu $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$, potom platí

$$L[\text{m}] = 0,102 F \left[\frac{\text{N}}{\text{Mtex}} \right]$$

kde F je měrná pevnost. V praxi používanější je tržná délka v km, pro kterou platí

$$L[\text{km}] = 102 F \left[\frac{\text{N}}{\text{tex}} \right]$$

1.7 Typy použitých regresí

Geometrické změny, kterým podléhá DVÚ v procesu kroucení, jsou výslednicí působení velkého počtu vnitřních a vnějších faktorů. Vytvoření teoretického modelu, který by postihl vliv všech těchto faktorů na geometrii DVÚ, je velmi obtížné a v mnoha směrech nemožné. Z toho důvodu byly v práci vytvořeny fenomenologické modely geometrického chování DVÚ v procesu kroucení na bázi množin empirických funkcí a jejich numerického zpracování vhodnou regresí. Pod pojmem model geometrického chování přitom rozumíme soubor regresních funkčních závislostí vybraných závisle proměnných geometrických veličin na nezávisle proměnných veličinách krouceného DVÚ. Protože nekonečná vlákna a vlákna konečné délky se v procesu kroucení chovají velmi rozdílně, metodicky i obsahově je rozdílné také řešení dané problematiky u multifilu a u staplové příze.

Při tvorbě modelu geometrického chování multifilu byly použity výpočetní programy Lineární regrese a Nelineární regrese, které jsou součástí interaktivního programového systému Adstat pro zpracování dat na PC [4]. Tyto programy jsou k dispozici na fakultní počítačové síti. K řešení této části práce byly použity regresní funkce.

$$y = px$$

$$y = p_1x + p_2x^{p_3}$$

Detailnější analýza jednotlivých typů regresních funkcí bude provedena v příslušných kapitolách.

Geometrické poměry ve staplové přízi jsou takové povahy, že k jejich řešení je třeba použít dvou typů nelineárních regresních funkcí, jmenovitě

$$y = p_1(x_1^{p_2} x_2)^{p_3}$$

$$y = p_1[x_1^{p_2}(x_2 - p_3x_1^{p_4})]^{p_5}$$

V době, kdy jsem problematiku česaných přízí začal řešit, nebyla ještě vybudována fakultní počítačová síť a tudíž nebyly k dispozici ani již citované výpočetní programy. Z toho důvodu ke stanovení regresních parametrů jsem použil řešení, které bude popsáno v samostatné kapitole.

Označíme-li závisle proměnnou geometrickou veličinu obecným symbolem A , v geometrickém modelu česaných přízí jsou obsaženy regresní funkce typu $A(\alpha)$ a regresní funkce typu $A(\alpha^*)$ s posunutým počátkem.

1.7.1 Regresní funkce typu $A(\alpha)$

Regresní funkce tohoto typu jsou mocninné funkce podle vztahu

$$A = p_l \alpha^{p_2} \quad (1.32)$$

kde A je obecná geometrická veličina a α koeficient zákrutu s exponentem kroucení q podle vztahu (1.21).

V bývalých československých i oborových normách, např. [5] a [6], jsou koeficienty zákrutu normalizovány v jednotkách $\text{ktex}^q \text{m}^{-1}$. V důsledku toho nabývají hodnot řádu 10^1 až $10^2 \text{ktex}^q \text{m}^{-1}$. Protože tento rozměr se stal zejména u přadláků velmi žáditou zvyklostí a také z důvodu kontinuity a zachování řádu, i v modelu geometrického chování česaných přízí zachováme tento rozměr. Zavedeme-li pro jemnost v ktex symbol T_k , potom pro koeficienty zákrutu α , α_K a α_F v normalizovaných jednotkách platí

$$\alpha = T_k^q Z \quad (1.21a)$$

$$\alpha_K = \sqrt{T_k} Z \quad (1.23a)$$

$$\alpha_F = T_k^{2/3} Z \quad (1.25a)$$

Protože regresní funkce $A(\alpha [\text{ktex}^q \text{m}^{-1}])$ podle (1.32) není vhodná pro praktickou aplikaci, přetransformujeme ji na funkce typu $A(T [\text{tex}]; Z [\text{m}^{-1}])$, $A(T [\text{tex}]; \alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}])$ a $A(T [\text{tex}]; \alpha_K [\text{ktex}^{1/2} \text{m}^{-1}])$. Ze vztahů (1.21a) a (1.32) a použitím převodního vztahu

$$T_k [\text{ktex}] = 10^{-3} T [\text{tex}] \quad (1.33)$$

obdržíme funkční závislost $A(T, Z)$ ve tvaru

$$A = p_{1Z} T^{p_2 q} Z^{p_2} \quad (1.34)$$

Pro konstantu p_{1Z} přitom platí

$$p_{1Z} = 10^{-3 p_2 q} p_l \quad (1.35)$$

Ze vztahu (1.34) je zřejmé, že u přízí stejné jemnosti T veličina A nabývá stejných hodnot jenom při stejném zákrutu Z . Při vědomí této skutečnosti ze vztahů (1.21a) a (1.25a) odvodíme funkční závislost $\alpha(T_k, \alpha_F)$ ve tvaru

$$\alpha = T_k^{q-2/3} \alpha_F \quad (1.36)$$

Dosazením za α z (1.36) do (1.32) pro funkční závislost $A(T_k, \alpha_F)$ obdržíme

$$A = p_l (T_k^{q-2/3} \alpha_F)^{p_2} \quad (1.37)$$

Pro praktickou aplikaci je vhodnější tvar funkce $A(T, \alpha_F)$, kterou obdržíme realizací převodního vztahu (1.33) a matematickou úpravou na tvar

$$A = p_{lF} T^{p_2(q-2/3)} \alpha_F^{p_2} \quad (1.38)$$

Konstanta p_{lF} se vypočítá ze vztahu

$$p_{lF} = 10^{3p_2(2/3-q)} p_l \quad (1.39)$$

Analogickým postupem a s použitím příslušných vztahů odvodíme funkční závislosti $\alpha(T_k, \alpha_K)$, $A(T, \alpha_K)$ a $p_{lK}(p_l)$ ve tvaru

$$\alpha = T_k^{q-1/2} \alpha_K \quad (1.40)$$

$$A = p_{lK} T^{p_2(q-1/2)} \alpha_K^{p_2} \quad (1.41)$$

$$p_{lK} = 10^{3p_2(1/2-q)} p_l \quad (1.42)$$

V regresních funkcích $A(\alpha)$ geometrických veličin staplových přízí exponent kroucení q nabývá výrazně rozdílných hodnot a v důsledku toho koeficienty zákrutu α se nezdá liší řádově od normalizovaných koeficientů α_F a α_K . Tuto skutečnost lze vyeliminovat provedením transformace funkce $A(\alpha)$ na funkci $A(\hat{\alpha}_F)$ na základě podmínky

$$A(\alpha) = A(\hat{T}_k; \alpha_F) \quad (1.43)$$

Geometrický průměr jemnosti $\overset{\circ}{T}_k$ je volen s ohledem na logaritmické hodnoty proměnných v linearizovaném korelačním regresním modelu, transformovanou souřadnici $\hat{\alpha}_F$ označíme pojmem modifikovaný koeficient zákrutu podle Phrixe.

Ze vztahů (1.32) a (1.37) je zřejmé, že transformační podmínka (1.43) je splněna tehdy, jestliže platí rovnost

$$\alpha = \overset{\circ}{T}_k^{q-2/3} \hat{\alpha}_F \quad (1.44)$$

Potom pro modifikovaný koeficient zákrutu $\hat{\alpha}_F(\alpha)$ platí

$$\hat{\alpha}_F = \overset{\circ}{T}_k^{2/3-q} \alpha \quad (1.45)$$

Jestliže nyní za α dosadíme ze vztahu (1.36) a provedeme převod podle (1.33), pro $\hat{\alpha}_F(T, \alpha_F)$ obdržíme

$$\hat{\alpha}_F = \overset{\circ}{T}^{2/3-q} T^{q-2/3} \alpha_F \quad (1.46)$$

Řešením vztahů (1.44), (1.21a) a převodu (1.33) po matematické úpravě obdržíme funkční závislost $Z(T, \hat{\alpha}_F)$ ve tvaru

$$Z = 10^2 \overset{\circ}{T}^{q-2/3} T^{-q} \hat{\alpha}_F \quad (1.47)$$

Nakonec dosazením za α z rovnosti (1.44) do (1.32) a aplikací převodního vztahu (1.33) obdržíme transformovanou funkci $A(\hat{\alpha}_F)$ ve tvaru

$$A = p_{I\hat{F}} \hat{\alpha}_F^{p_2} \quad (1.48)$$

přičemž pro $p_{I\hat{F}}$ platí

$$p_{I\hat{F}} = 10^{3p_2(2/3-q)} \overset{\circ}{T}^{p_2(q-2/3)} p_I \quad (1.49)$$

Provedením analogické transformace funkce $A(\alpha)$ na $A(\hat{\alpha}_K)$ obdržíme následující funkční závislosti

$$\hat{\alpha}_K = \overset{\circ}{T}^{1/2-q} T^{q-1/2} \alpha_K \quad (1.50)$$

$$Z = 10^{3/2} \overset{\circ}{T}^{q-1/2} T^{-q} \hat{\alpha}_K \quad (1.51)$$

$$A = p_{I\hat{K}} \hat{\alpha}_K^{p_2} \quad (1.52)$$

$$p_{I\hat{K}} = 10^{3p_2(1/2-q)} \overset{\circ}{T}^{p_2(q-1/2)} p_I \quad (1.53)$$

Veličinu $\hat{\alpha}_K$ označíme pojmem modifikovaný koeficient zákrutu podle Koechlina.

1.7.2 Regresní funkce typu $A(\alpha^*)$

Některé závisle proměnné geometrické veličiny staplových přízí nabývají nulových hodnot při nenulovém zákrutu. Protože tento zákrut není konstantní pro každou jemnost příze, jeho závislost na jemnosti $Z_0(T)$ aproximujme mocninnou funkcí

$$Z_0(T) = K_Z T_k^z \quad (1.54)$$

kde K_Z je rozměrová konstanta.

Pro transformovaný zákrut Z^* jako rozdíl zákrutů Z a $Z_0(T)$ potom platí

$$Z^* = Z - K_Z T_k^z \quad (1.55)$$

Jestliže vztah (1.55) vynásobíme q -tou mocninou jemnosti T_k^q , pro transformovaný koeficient zákrutu obdržíme

$$\alpha^* = \alpha - K_Z T_k^{q+z} \quad (1.56)$$

Regresní funkce $A(\alpha^*)$ po přepočtu na jemnost v jednotkách tex podle vztahu (1.33) jsou mocninné funkce ve tvaru

$$A = p_1 (\alpha - K_{Z\alpha} T^{q+z})^{p_2} \quad (1.57)$$

kde konstanta $K_{Z\alpha}$ se vypočítá podle vztahu

$$K_{Z\alpha} = 10^{-3(q+z)} K_Z \quad (1.58)$$

Ze vztahu (1.57) je zřejmé, že regresní funkce tohoto typu jsou funkce dvou proměnných, jmenovitě α a T . Pouze ve specifickém případě, kdy $z = -q$, je posunutí počátku konstantní, nezávislé na jemnosti příze. O definičním oboru funkcí tohoto typu, jakož i o metodice odhadu regresních parametrů, bude pojednáno v příslušných kapitolách.

Jestliže nyní za α dosadíme z (1.22a) a provedeme přepočítání jemnosti podle (1.33), pro funkci $A(T, Z^*)$ obdržíme

$$A = p_{1Z} T^{p_2 q} (Z - K_{ZZ} T^z)^{p_2} \quad (1.59)$$

kde p_{1Z} se vypočítá podle vztahu (1.35) a pro konstantu K_{ZZ} platí

$$K_{ZZ} = 10^{-3z} K_Z \quad (1.60)$$

Analogickým postupem jako u vztahu (1.56), ale s příslušnými hodnotami exponentu kroucení q , odvodíme

$$\alpha_F^* = \alpha_F - K_Z T_k^{z+2/3} \quad (1.61)$$

$$\alpha_K^* = \alpha_K - K_Z T_k^{z+1/2} \quad (1.62)$$

Z analogie s převodními vztahy (1.36) a (1.40) platí

$$\alpha^* = T_k^{q-2/3} (\alpha_F - K_Z T_k^{z+2/3}) \quad (1.63)$$

$$\alpha^* = T_k^{q-1/2} (\alpha_K - K_Z T_k^{z+1/2}) \quad (1.64)$$

Po aplikaci vztahů (1.63), (1.64) a (1.33) funkční závislost $A(T, \alpha_F^*)$ má tvar

$$A = p_{1F} T^{p_2(q-2/3)} (\alpha_F - K_{ZF} T^{z+2/3})^{p_2} \quad (1.65)$$

kde p_{1F} se vypočítá podle vztahu (1.39) a pro K_{ZF} platí

$$K_{ZF} = 10^{-3(z+2/3)} K_Z \quad (1.66)$$

a funkční závislost $A(T, \alpha_K^*)$

$$A = p_{IK} T^{p_2(q-1/2)} (\alpha_K - K_{ZK} T^{z+1/2})^{p_2} \quad (1.67)$$

kde p_{IK} se vypočítá podle vztahu (1.42) a pro K_{ZK} platí

$$K_{ZK} = 10^{-3(z+1/2)} K_Z \quad (1.68)$$

U regresních funkcí s posunutým počátkem transformační podmínka (1.43) je splněna tehdy, jestliže platí rovnost

$$\alpha^* = \overset{\circ}{T}_k^{q-2/3} \left(\hat{\alpha}_F - K_Z \overset{\circ}{T}_k^{z+2/3} \right) \quad (1.69)$$

Jestliže nyní za α^* dosadíme ze vztahu (1.63) do (1.69) a provedeme převod jemnosti podle (1.33), pro modifikovaný koeficient zákrutu $\hat{\alpha}_F^*$ po úpravě obdržíme

$$\hat{\alpha}_F^* = \overset{\circ}{T}^{2/3-q} T^{q-2/3} (\alpha_F - K_{ZF} T^{z+2/3}) + K_{ZF} \quad (1.70)$$

kde K_{ZF} se vypočítá podle vztahu (1.66) a pro K_{ZF} platí

$$K_{ZF} = 10^{-3(z+2/3)} \overset{\circ}{T}^{z+2/3} K_Z \quad (1.71)$$

Užitím vztahů (1.69), (1.56), (1.21a) a převodu (1.33) po úpravě nalezneme vztah pro výpočet zákrutu jako funkci $Z(T, \hat{\alpha}_F^*)$ ve tvaru

$$Z = 10^2 \overset{\circ}{T}^{q-2/3} T^{-q} (\hat{\alpha}_F - K_{ZF}) + K_{ZZ} T^z \quad (1.72)$$

kde K_{ZF} se vypočítá podle vztahu (1.71) a K_{ZZ} podle (1.60).

Nakonec aplikací vztahu (1.69) a převodu jemnosti (1.33) obdržíme transformovanou funkci $A(\hat{\alpha}_F^*)$ ve tvaru

$$A = p_{IF} (\hat{\alpha}_F - K_{ZF})^{p_2} \quad (1.73)$$

kde $p_{I\hat{F}}$ se vypočítá podle vztahu (1.49) a K_{ZF} podle (1.71).

U regresních funkcí s posunutým počátkem transformační podmínka (1.43) při aplikaci modifikovaného koeficientu zákrutu $\hat{\alpha}_K^*$ je splněna tehdy, jestliže platí rovnost

$$\alpha^* = \overset{\circ}{T}_k^{q-1/2} \left(\hat{\alpha}_K - K_Z \overset{\circ}{T}_k^{z+1/2} \right) \quad (1.74)$$

Analogicky s popsáním postupem při aplikaci $\hat{\alpha}_F$, tedy s použitím vztahů (1.21a), (1.33), (1.56), (1.64) a (1.74), odvodíme funkční závislosti $\hat{\alpha}_K(T, \alpha_K^*)$, $Z(T, \hat{\alpha}_K^*)$ a $A(\hat{\alpha}_K^*)$ ve tvaru

$$\hat{\alpha}_K^* = \overset{\circ}{T}^{1/2-q} T^{q-1/2} (\alpha_K - K_{ZK} T^{z+1/2}) + K_{Z\hat{K}} \quad (1.75)$$

kde K_{ZK} se vypočítá podle vztahu (1.68) a pro $K_{Z\hat{K}}$ platí

$$K_{Z\hat{K}} = 10^{-3(z+1/2)} \overset{\circ}{T}^{z+1/2} K_Z \quad (1.76)$$

$$Z = 10^{3/2} \overset{\circ}{T}^{q-1/2} T^{-q} (\hat{\alpha}_K - K_{Z\hat{K}}) + K_{ZZ} T^z \quad (1.77)$$

$$A = p_{I\hat{K}} (\hat{\alpha}_K - K_{Z\hat{K}})^{p_2} \quad (1.78)$$

Konstanta K_{ZZ} se vypočítá podle vztahu (1.60) a $p_{I\hat{K}}$ podle (1.53).

1.7.3 Fyzikální rozměr regresních konstant

Pro rozměr regresních konstant jsou relevantní rozměry proměnných veličin regresních funkcí. Z tohoto hlediska jsou poměry rozdílné u multifilu a u česaných přízí.

V regresních funkcích multifilu jsou bezrozměrné všechny proměnné veličiny a v důsledku toho jsou bezrozměrné i regresní konstanty.

U obou typů regresních funkcí česaných přízí nezávisle proměnné α i α^* mají rozměr $\text{ktex}^q \text{m}^{-1}$, kdežto závisle proměnné, s výjimkou průměru příze D , jsou veličiny bezrozměrné. Z uvedeného tedy vyplývá, že jde pouze o stanovení rozměru konstanty p_I pro D [m], konstanty p_I pro obecnou bezrozměrnou geometrickou veličinu A [1] a konstanty K_Z pro zákrut Z_0 [m^{-1}].

Konstanta p_1 pro D [m]

Z regresní funkce (1.32) pro $A = D$ a z rozměru koeficientu zákrutu α vyplývá, že pro průměr příze v metrech regresní konstanta p_1 má rozměr

$$\text{ktex}^{-p_2 q} \text{m}^{p_2+1} = g^{-p_2 q} \text{m}^{p_2(q+1)+1}$$

Pro průměr v mm platí

$$D [\text{mm}] = 10^3 D [\text{m}]$$

Konstanta p_1 pro A [1]

Z regresní funkce (1.32) a z rozměru koeficientu zákrutu s obecným exponentem kroucení q vyplývá, že pro bezrozměrnou obecnou geometrickou veličinu A jako funkci $A(\alpha)$ i $A(\alpha^*)$ regresní konstanta p_1 má rozměr

$$\text{ktex}^{-p_2 q} \text{m}^{p_2} = g^{-p_2 q} \text{m}^{p_2(q+1)}$$

Konstanta K_Z pro Z_0 [m⁻¹]

Z aproximační funkce (1.54) je zřejmé, že pro zákrut Z_0 v m⁻¹ konstanta K_Z má rozměr

$$\text{ktex}^{-z} \text{m}^{-1} = g^{-z} \text{m}^{z-1}$$

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Intenzita kroucení délkového vláknenného útvaru

Mezi kroucením délkového vláknenného útvaru a torzním namáháním hřídele kruhového průřezu, tudíž mezi zákrutem a zkrutem, jakož i mezi intenzitou zákrutu podle definičního vztahu (1.20) a zkosem, je geometrická analogie. Intenzitu torzního namáhání hřídele charakterizuje maximální smykové napětí, které je úměrné velikosti zkosu jeho povrchy rovnoběžné s osou, intenzitu zakroucení délkového vláknenného útvaru charakterizuje hodnota intenzity zákrutu κ . Z uvedeného tedy vyplývá, že vláknenné útvary o různé jemnosti jsou stejně intenzívně zakrouceny tehdy, jestliže jim udělíme takový počet zákrutů, při kterém intenzita zákrutu u nich nabývá stejné hodnoty. Takovéto útvary se v textilní literatuře často označují jako geometricky podobné.

Jak již bylo v práci uvedeno, Koechlin [2] již v roce 1828 publikoval svůj známý vztah, který po transformaci na současné jednotky jemnosti můžeme napsat ve tvaru

$$Z = T^{-1/2} \alpha_K \quad (2.1)$$

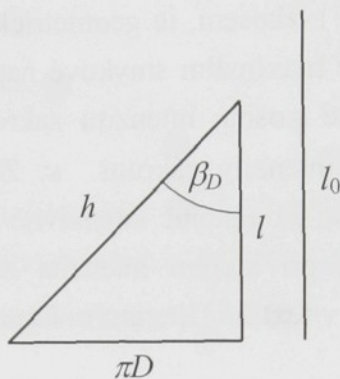
kde Z je zákrut, α_K koeficient zákrutu podle Koechlina, absolutní hodnota exponentu u jemnosti T , v literatuře označovaná symbolem q , se nazývá exponent kroucení. Počet zákrutů vypočítaný podle tohoto vztahu při stejné hodnotě α_K zajišťuje podle autora stejnou intenzitu zakroucení přízí rozdílných jemností. Jiní autoři, např. Budnikov [7], uvádí, že vztah (2.1) jako empirický byl známý ještě dříve.

Přesto, že Neckář ve své monografii [1] uvádí autory, kteří pro bavlněnou přízi v historii navrhli celkem 11 různých hodnot exponentu kroucení z intervalu od 0,47 do 0,785, celý textilní svět, s výjimkou republik bývalé ČSFR, používá trvale vztah (2.1), tedy koechlinovský exponent kroucení $q = 1/2$. V průběhu 2. světové války na území dnešní ČR byla pro výpred přízí se stejnou intenzitou kroucení zavedena empirická hodnota exponentu kroucení $q = 2/3$ a koeficient zákrutu α_F podle Phrixe. Doposud ovšem není známo, jestli název tohoto koeficientu je odvozen od jména autora, nebo firmy, která ho aplikovala jako první. Po válce byla v obou republikách bývalé ČSFR tato hodnota exponentu kroucení postupně normativně stanovena pro všechny druhy přízí kromě lnářských a skaných.

Jak již bylo uvedeno v kap. 1.5, intenzita zákrutu je definována vztahem

$$\kappa = \pi DZ \quad (2.2)$$

Pro účely geometrické interpretace této veličiny provedeme rozvinutí jednoho ovinu DVÚ, krouceného za podmínky konstantního napětí, tudíž s možností změny jeho délky, jak je znázorněno na obr.1. Symbolem l_0 je označena nezakroucená délka, l délka po zakroucení, πD je obvod útvaru a h délka šroubovicového ovinu na povrchu útvaru.



Obr.1 Rozvinutý ovin délkového vláknenného útvaru

Protože pro jeden ovin ve smyslu vztahu (1.6) platí $Z = 1/l$, z obrázku vyplývá, že intenzita zákrutu κ je tangenta úhlu stoupání šroubovicových ovinů β_D fiktivního vlákna o nulovém průměru, umístěného na povrchu DVÚ. V limitním případě, kdy buď počet vláken v průřezu útvaru se blíží nekonečnu, nebo průměr elementárních vláken se blíží nule, je intenzita zákrutu totožná s tangentou úhlu stoupání šroubovicových ovinů reálných povrchových vláken.

Jestliže nyní do vztahu (2.2) za D dosadíme z (1.11), pro intenzitu zákrutu obdržíme

$$\kappa = \sqrt{\frac{4\pi}{\rho}} \sqrt{\frac{T}{\mu}} Z \quad (2.3)$$

Ve vztahu (2.3) je hustota ρ konstantní pro vlákna stejného druhu, jemnost T a zákruty Z jsou nezávisle proměnné veličiny, zaplnění μ je závisle proměnnou geometrickou veličinou délkového vláknenného útvaru. Zavedme předpoklad, že zaplnění je funkcí součinu mocnin jemnosti a zákrutu podle vztahu

$$\mu = u T^v Z^w \quad (2.4)$$

kde u je rozměrová konstanta.

Tato funkce není definována pro $Z = 0$, protože délkový vláknenný útvar o nulovém počtu zákrutů má nenulové zaplnění. Tato skutečnost není v rozporu s realitou, protože

jak multifil, tak také staplové příze jsou vždycky opatřeny nenulovým zákrutem. Jestliže vztah (2.4) upravíme na společného mocnitele, obdržíme

$$\mu = u \left(T^{\frac{v}{w}} Z \right)^w \quad (2.5)$$

Po dosazení za μ do vztahu (1.11), pro průměr útvaru obdržíme

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi u \rho}} T^{\frac{1-v}{2}} Z^{-\frac{w}{2}} \quad (2.6)$$

Dosadíme-li za μ ze vztahu (2.4) do (2.3), po úpravě na společného mocnitele pro intenzitu zákrutu obdržíme

$$\kappa = \sqrt{\frac{4\pi}{u\rho}} \left(T^{\frac{1-v}{2-w}} Z \right)^{\frac{2-w}{2}} \quad (2.7)$$

Zavedme nyní substituci

$$p_1 = \sqrt{\frac{4\pi}{u\rho}} \quad (2.8)$$

$$q = \frac{1-v}{2-w} \quad (2.9)$$

$$p_2 = \frac{2-w}{2} \quad (2.10)$$

Potom pro intenzitu zákrutu můžeme psát

$$\kappa = p_1 (T^q Z)^{p_2} \quad (2.11)$$

Pro zákrut jako funkci $Z(T; \kappa)$ pak obdržíme

$$Z = T^{-q} \left(\frac{\kappa}{p_1} \right)^{\frac{1}{p_2}} \quad (2.12)$$

Počet zákrutů vypočítaný podle tohoto vztahu podmiňuje u útvarů o různé jemnosti T stejnou intenzitu zakroucení, úměrnou hodnotě κ . Použitelnost tohoto vztahu je

ovšem závislá na znalosti hodnot nejenom exponentu kroucení q , ale také konstant p_1 a p_2 . Tento teoretický problém zúžil Koechlin již v r. 1828 tím, že součin v závorce vztahu (2.11) pojmenoval jako koeficient zákrutu a označil symbolem α , tudíž

$$\alpha = T^q Z \quad (2.13)$$

Potom intenzita zákrutu je funkcí jediné proměnné α a má tvar

$$\kappa = p_1 \alpha^{p_2} \quad (2.14)$$

Z tohoto vztahu je zřejmé, že intenzita zákrutu κ je konstantní tehdy, když je konstantní koeficient zákrutu α , čili jestliže stejných hodnot nabývá součin $T^q Z$.

Ze vztahu (2.13) pro zákrut jako funkci $Z(T; \alpha)$ obdržíme

$$Z = T^{-q} \alpha \quad (2.15)$$

Počet zákrutů vypočítaný podle tohoto vztahu podmiňuje u útvarů o různé jemnosti T stejnou intenzitu zakroucení, úměrnou hodnotě α ; vztah (2.15) je tudíž obecnou analogií Koechlinova vztahu (2.1).

Z podmínky rovnosti levých stran vztahů (2.12) a (2.15) odvodíme inverzní funkci $\alpha(\kappa)$ ve tvaru

$$\alpha = \left(\frac{\kappa}{p_1} \right)^{1/p_2} \quad (2.16)$$

Z této závislosti vyplývá, že koeficient zákrutu α i přes bezrozměrnost κ není veličinou bezrozměrnou ani univerzální, platnou pro všechny druhy vláken, protože konstanta p_1 je ve smyslu substitučního vztahu (2.8) funkcí hustoty vláken ρ . Z uvedeného dále vyplývá, že aplikace vztahu (2.16) je možná pouze při znalosti parametrů funkce (2.11) pro daný druh vlákenného útvaru.

Z provedené analýzy vyplynulo, že k projektování intenzity kroucení délkových vlákenných útvarů máme k dispozici dva vztahy, jmenovitě (2.12) a (2.15). V každém z těchto vztahů je kriteriem intenzity kroucení jiná veličina: ve vztahu (2.12) to je intenzita zákrutu κ , definovaná jako tangenta úhlu stoupání ovinů nehmotného vlákna na povrchu útvaru, ve vztahu (2.15) kriteriem intenzity kroucení je koeficient zákrutu α , obecně definovaný jako součin $T^q Z$.

Aby bylo možné prakticky aplikovat vztah (2.12) pro projektování intenzity kroucení jako funkci κ , pro každý druh vláken je nutné znát hodnoty exponentu

kroucení q a parametrů p_1 a p_2 funkce (2.11). Projektování intenzity kroucení jako funkce α podle vztahu (2.15) vyžaduje znalost pouze hodnoty exponentu kroucení q .

Hodnotu exponentu kroucení Koechlin stanovil exaktním způsobem po přijetí zjednodušujících předpokladů, kdy délkový vláknenný útvar považuje za plně těleso kruhového průřezu, tudíž se zaplněním $\mu = 1$. Za těchto předpokladů podle vztahů (2.4), (2.9), (2.10) a (2.11) $u = 1$, $v = 0$, $w = 0$, $q = 1/2$ a $p_2 = 1$, tudíž intenzita zákrutu κ je lineární funkcí koeficientu zákrutu α_K . Z uvedených skutečností vyplývá, že již od samého zrodu teorie kroucení délkového vláknenného útvaru kritériem intenzity kroucení není intenzita zákrutu, ale koeficient zákrutu, v historii české přádelnické praxe se dvěma různými hodnotami exponentu kroucení, jmenovitě $q = 1/2$ a $q = 2/3$.

Přesto, že koeficient zákrutu není veličinou bezrozměrnou, historicky byl deklarován za empirickou konstantu, jejíž hodnota je závislá na účelu použití příze. Tato praxe přetrvává až do dnešní doby v normách ČSN a ON, ve kterých pro zákrutové standardy vlnářských a bavlnářských přízí jsou stanoveny empirické hodnoty koeficientu zákrutu α_F podle Phrixe, tedy s exponentem kroucení $q = 2/3$. Zákruty vypočítané podle příslušného vztahu s použitím stanovených hodnot α_F vytváří normalizované řady zákrutů s určením pro pletací, útkové a osnovní příze. Stejná praxe je i v ostatním přádláckém světě, ale s použitím koeficientu zákrutu α_K podle Koechlina, tudíž s exponentem kroucení $q = 1/2$. Protože koeficienty zákrutů α_F i α_K nejsou veličinami universálními, platnost příslušných norem je specifikována podle druhu příze.

Z pohledu dnešní úrovně poznání dosavadní praxe nahlížení na koeficient zákrutu jako empirickou konstantu je poněkud zastaralé. Mezní hodnoty koeficientů zákrutu s libovolným exponentem kroucení a pro každou technologii předení lze stanovit experimentálně s využitím okrajových podmínek předení. Dolní okrajovou podmínkou je minimální zákrut, při kterém nejtenčí přízi z intervalu jemnosti lze spřádat s přijatelným počtem technologických přetrhů. Horní okrajovou podmínkou je zákrut, při kterém nejtlustší příze dosahuje maximální pevnosti; tento zákrut, po jehož překročení se pevnost příze snižuje, byl označen jako kritický. Jestliže dolní kritický zákrut vynásobíme koeficientem bezpečnosti větším než jedna a označíme symbolem Z_d , jemnost nejtenčí příze T_d , potom dolní mezní hodnota koeficientu zákrutu s exponentem kroucení q a se symbolem α_d se vypočítá podle vztahu (2.13). Koeficient bezpečnosti na horní mezi předení je menší než jedna, symboly mezních veličin Z_h , T_h a α_h .

Nyní intenzitu kroucení na bázi koeficientu zákrutu můžeme vyjádřit jako poměrnou bezrozměrnou veličinu, označenou symbolem φ_α a názvem poměrná intenzita kroucení, podle definičního vztahu

$$\varphi_\alpha = \frac{\alpha - \alpha_d}{\alpha_h - \alpha_d} \quad (2.17)$$

Z definičního vztahu je zřejmé, že $\varphi_\alpha = 0$ jestliže $\alpha = \alpha_d$ a $\varphi_\alpha = 1$ jestliže $\alpha = \alpha_h$, tudíž poměrná intenzita kroucení pochází z intervalu $\varphi_\alpha \in \langle 0; 1 \rangle$.

Pro koeficient zákrutu jako funkci poměrné intenzity kroucení, vyjádřený z definičního vztahu (2.17), obdržíme

$$\alpha = (\alpha_h - \alpha_d) \varphi_\alpha + \alpha_d \quad (2.18)$$

Jestliže nyní za α dosadíme z definičního vztahu (2.13), pro zákrut jako funkci poměrné intenzity kroucení a jemnosti obdržíme

$$Z_\alpha = [(\alpha_h - \alpha_d) \varphi_\alpha + \alpha_d] T^{-q} \quad (2.19)$$

kde α_h, α_d a q jsou pro daný druh příze konstanty.

Poměrná intenzita kroucení φ_α je vhodná pro projektování zákrutových standardů v závislosti na účelu použití příze. K řešení této problematiky se jeví jako vhodné rozdělit interval φ_α na tři stejně velké třídní intervaly a tyto stanovit v pořadí: $\varphi_\alpha \in \langle 0; 0,33 \rangle$ pro pletací, $\varphi_\alpha \in \langle 0,33; 0,66 \rangle$ pro útkové a $\varphi_\alpha \in \langle 0,66; 1 \rangle$ pro osnovní příze. Další možnou alternativou je rozdělení intervalu $\langle \varphi_\alpha \rangle$ na devět stejně velkých třídních intervalů, případně vypočítat jejich střední hodnoty, a tyto v příslušném pořadí stanovit pro výpřed jemně, středně a ostře kroucených přízí pletařských, útkových a osnovních.

Proveďme nyní analýzu zaměřenou na vymezení intervalu hodnot, kterých může nabývat exponent kroucení q a exponent p_2 , určující charakter funkce $\kappa(\alpha)$ u technologicky kroucených délkových vlákných útvarů, tudíž s možností změny délky, které bývá označováno také jako kroucení při konstantním napětí.

Ze vztahů (2.9) a (2.10) je zřejmé, že exponent kroucení q i exponent p_2 jsou funkcí exponentů zaplnění v a w zavedených do vztahu (2.4). Vylučme alternativy, u kterých je jeden z těchto exponentů nulový a druhý nenulový jako nerealné, protože je nerealný předpoklad, aby stejných hodnot zaplnění nabývaly útvary rozdílné jemnosti

při stejných zákrutech, případně útvary stejné jemnosti při rozdílných zákrutech. Pro analýzu nám zbývají pouze mezní alternativy, u kterých jsou buď oba exponenty nulové, nebo oba rozdílné od nuly.

A) Necht' nyní $v = 0$ a $w = 0$, potom ve smyslu vztahů (2.9) a (2.10) $q = 1/2$ a $p_2 = 1$. Za těchto podmínek $\mu = u$, a tudíž průměr délkového vláknenného útvaru je v procesu kroucení konstantní. Tomuto modelu kroucení podle práce [8] odpovídá technologické kroucení multifilu. V citované práci bylo experimentálně prokázáno, že multifil, kroucený za podmínek konstantního napětí, vykazuje buď konstantní průměr, nebo pouze tak nepatrné změny průměru, že jsou menší než statistické chyby při použitém způsobu a počtu měření. Pro jemnost, zaplnění a zákrut předlohy multifilu použijme nulového indexu u symbolů veličin, tedy T_0, μ_0 a l_0 . Kroucení I. řádu multifilu za definovaných podmínek je vymezeno tzv. nasyceným zákrutem Z_n . Po překročení tohoto počtu zákrutů dochází k prostorové deformaci osy multifilu a k tvorbě tzv. zákrutů II. řádu, jak je v citované práci obrazově dokumentováno. Z uvedeného vyplývá, že multifilu je možno udělit libovolný počet zákrutů z intervalu $Z \in \langle Z_0; Z_n \rangle$

Při kroucení multifilu za definovaných podmínek s rostoucím počtem zákrutů dochází ke zkracování jeho délky, v důsledku čehož podle vztahu (1.12) roste hodnota seskání δ a ve smyslu vztahu (1.14) roste také hodnota jemnosti. Podle vztahu (1.10) při konstantním průměru D multifilu a hustotě ρ elementárních vláken s rostoucí hodnotou jemnosti roste také zaplnění multifilu. Na základě uvedeného můžeme konstatovat, že udělíme-li multifilu zákruty z uvedeného intervalu, při použití stejných indexů veličin jemnost nabývá hodnot z intervalu $T \in \langle T_0; T_n \rangle$ a zaplnění $\mu \in \langle \mu_0; \mu_n \rangle$. Protože technologické zakrucování probíhá při konstantním průměru multifilu, ve smyslu vztahu (1.11) musí platit

$$\frac{T_0}{\mu_0} = \frac{T_1}{\mu_1} = \frac{T_2}{\mu_2} = \frac{T_3}{\mu_3} = \dots = \frac{T_n}{\mu_n}$$

kde veličiny s číselnými indexy jsou ekvivalentní zákrutům z uvedeného intervalu ve vzestupné řadě.

V práci [8] byla provedena studie radiální struktury krouceného multifilu. Zaplnění μ_0 bylo definováno jako zaplnění radiálního řezu válcem nejmenšího průměru, ve kterém jsou vměstnána rovnoběžná elementární vlákna stejného kruhového nedeformovaného průřezu. Z výsledků této studie vyplynulo, že v oblasti počtu vláken běžných multifilů variabilita zaplnění μ_0 je zanedbatelná a

že jeho průměrná hodnota je $\mu_0 = 0,7636$. Při vědomí těchto skutečností vztah (1.11) pro průměr multifilu můžeme přetransformovat do tvaru

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi \mu_0}} \sqrt{\frac{T_0}{\rho}} \quad (2.20)$$

Jestliže za D nyní dosadíme do definičního vztahu (2.2) a upravíme, pro intenzitu zákrutu obdržíme

$$\kappa = \sqrt{\frac{4\pi}{\mu_0}} \sqrt{\frac{T_0}{\rho}} Z \quad (2.21)$$

kde π a μ_0 jsou konstanty. Ze vztahu (2.21) je zřejmé, že intenzita zákrutu κ je konstantní, jestliže je konstantní výraz na jeho pravé straně, pro který byl v kap. 1.1 zaveden symbol α_h a definiční vztah (1.27), jmenovitě

$$\alpha_h = \sqrt{\frac{T_0}{\rho}} Z$$

Z tohoto vztahu je zřejmé, že α_h je plošný, tudíž bezrozměrný koeficient zákrutu, univerzální, tudíž společný pro všechny multifily z hlediska druhu vláken a koechlinovského typu z hlediska hodnoty exponentu kroucení. Jestliže vyčíslíme konstanty, pro intenzitu zákrutu multifilu obdržíme lineární funkci

$$\kappa = 4,05669 \alpha_h \quad (2.22)$$

B) Necht' nyní exponenty v a w nabývají nenulových hodnot, čili $v \neq 0$ a $w \neq 0$. Za těchto podmínek ve smyslu vztahu (2.6) průměr D vlákenného útvaru v procesu kroucení není konstantní, ale s rostoucím počtem zákrutů se zmenšuje. Tomuto modelu zakrucování odpovídá technologické zakrucování délkových vlákenných útvarů ze staplových elementárních vláken, jakým je například klasické dopřádání na prstencovém dopřádacím stroji

Metodou postupných kroků provedme nyní predikci mezních hodnot exponentů v , w a jejich podílu a s využitím substitučních vztahů (2.9) a (2.10) také predikci mezních hodnot exponentu kroucení q a exponentu p_2 .

a) Z ověřené skutečnosti, že při stejných zákrutech větších hodnot zaplnění nabývají hrubší příze a při stejné jemnosti příze s větším počtem zákrutů, vyplývá, že exponenty ve vztahu (2.4) jsou nezáporné, tudíž $v > 0$ i $w > 0$.

b) Z ověřené skutečnosti, že při stejných zákrutech větší průměr naměříme u hrubší příze, vyplývá, že lomený exponent u jemnosti T ve vztahu (2.6) je nezáporný, tudíž že $v < 1$. Ze závěrů ad a) a ad b) vyplývá, že exponent v u příze pochází z otevřeného intervalu $v \in (0; 1)$.

c) Z ověřené skutečnosti, že z důvodu možného prokluzu vláken při předení příze její zaplnění s rostoucím počtem zákrutu roste degresívně, vyplývá, že exponent w pochází z otevřeného intervalu $w \in (0; 1)$. Hodnoty exponentu p_2 podle substitučního vztahu (2.10) potom pochází z otevřeného intervalu $p_2 \in (1/2; 1)$.

d) Matematickou úpravou substitučního vztahu (2.9) pro podíl exponentů v/w obdržíme

$$\frac{v}{w} = \frac{qv}{2q + v - 1} \quad (2.23)$$

e) V důsledku toho, že exponenty v a w pochází z otevřeného intervalu $(0; 1)$, pouze kladných hodnot nabývají podíl v/w , exponent kroucení q podle vztahu (2.9) i součin qv . Za těchto podmínek jmenovatel vztahu (2.23) je kladný pro každé $v > 0$ tehdy, jestliže $2q - 1 \geq 0$, tudíž $q \geq 1/2$.

f) Horní mezní hodnotu intervalu exponentu kroucení q_h stanovíme pomocí limity funkce (2.9);

$$q_h = \lim_{\substack{v \rightarrow 0 \\ w \rightarrow 1}} \frac{1-v}{2-w} = 1 \quad (2.24)$$

Z bodu e) a f) analýzy vyplývá, že exponent kroucení staplových přízí pochází z polouzavřeného intervalu $q \in [1/2; 1)$.

g) Z řešení vztahu (2.23) vyplývá, že podmínka $v/w = q$ je splněna tehdy, jestliže současně platí $v/w = q = 1/2$.

h) Dolní mezní hodnotu intervalu podílu $(v/w)_d$ stanovíme pomocí limity funkce (2.23)

$$\left(\frac{v}{w}\right)_d = \lim_{\substack{v \rightarrow 0 \\ q \rightarrow 1}} \frac{qv}{2q + v - 1} = 0 \quad (2.25)$$

Z bodů g) a h) vyplývá, že podíl exponentů v/w , čili exponent kroucení zaplnění staplových přízí, pochází z polouzavřeného intervalu $v/w \in (0; 1/2)$.

Z parciálních výsledků části B) analýzy pro intenzitu kroucení staplových přízí plynou následující závěry:

- exponent kroucení nabývá hodnot z intervalu $q \in (1/2; 1)$;
- hodnota koechlinovského exponentu kroucení $q = 1/2$ je dolní mezní intervalovou hodnotou;
- exponent kroucení nabývá hodnoty $q = 1/2$ pouze za zvláštních podmínek, kdy také podíl $v/w = 1/2$, tudíž kdy intenzita zákrutu κ i zaplnění μ jsou funkcí koeficientu zákrutu α_K podle Koechlina;
- exponent kroucení zaplnění nabývá hodnot z intervalu $v/w \in (0; 1/2)$.

Na základě výsledků teoretické analýzy můžeme závěrem konstatovat, že pro způsob stanovení parametrů p_1 , q a p_2 zásadní význam má charakter délky elementárních vláken, jmenovitě jejich spojitost či nespojitost a s tím korespondující otázka, zda délkový vláknenný útvar je, či není v procesu kroucení radiálně stlačitelný. Zatímco pro radiálně stabilní svazky nekonečných vláken základní funkci (2.22) intenzity kroucení lze stanovit exaktně, pro radiálně stlačitelné staplové příze exaktně lze stanovit pouze interval hodnot parametrů q a p_2 , konkrétní hodnoty všech tří parametrů regresní funkce (2.11) pro jednotlivé druhy přízí z hlediska materiálového složení a technologie výroby se musí stanovit fenomenologicky. Při tomto řešení metodicky je možné postupovat analogicky s teoretickou analýzou, čili stanovit parametry u , v a w funkce zaplnění podle vztahu (2.4) a parametry základní funkce (2.11) intenzity kroucení vypočítat podle substitučních vztahů (2.8) až (2.10). Druhá alternativa teoreticko experimentálního řešení spočívá v přímém stanovení parametrů regresní funkce (2.11), jmenovitě p_1 , q a p_2 . Potom po vyjádření ze vztahů (2.8) až (2.10) pro parametry u , v a w korespondujících funkcí $\mu(T; Z)$ a $D(T; Z)$ platí

$$u = \frac{4\pi}{\rho p_1^2} \quad (2.26)$$

$$v = 1 - 2p_2q \quad (2.27)$$

$$w = 2(1 - p_2) \quad (2.28)$$

2.1.1 Intenzita kroucení multifilu

Z teoretické analýzy intenzity kroucení vyplynulo, že jestliže platí závěry práce[8] o konstantnosti průměru krouceného multifilu, potom intenzita zákrutu je lineární funkcí (2.22) koeficientu zákrutu α_h , definovaného vztahem (1.27). Pro přádláky je známou skutečností, že u nás i v textilním světě koeficient zákrutu α_K podle Koechlina se používá v jednotkách $\text{ktex}^{1/2}\text{m}^{-1}$, ve kterých nabývá hodnot řádu 10^1 až 10^2 . V zájmu zachování kontinuity této praxe zachovejme stejný řád hodnot také u koeficientů zákrutu definovaných pro multifil. Toho docílíme, jestliže následující veličiny budeme aplikovat v jednotkách: $T [\text{tex}]$; $T_0 [\text{tex}]$; $\tilde{T} [\tilde{\text{tex}}]$; $Z [\text{m}^{-1}]$; $Z_l [\text{m}^{-1}]$; $\rho [\text{kgm}^{-3}]$.

Za těchto podmínek po vyčíslení konstant ve vztahu (2.20) pro průměr multifilu obdržíme

$$D [\text{mm}] = 1,29129 \sqrt{\frac{T_0}{\rho}} \quad (2.29)$$

Při aplikaci veličin v uvedených jednotkách pro bezrozměrnou intenzitu zákrutu platí vztah

$$\kappa = 4,05669 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{T_0}{\rho}} Z \quad (2.30)$$

Koeficient zákrutu α_h , definovaný vztahem

$$\alpha_h = \sqrt{\frac{T_0}{\rho}} Z \quad (2.31)$$

podle hodnoty exponentu kroucení je koechlinovského typu, bezrozměrný, je funkcí hustoty vláken ρ , tudíž univerzální a jeho hodnoty v uvedených jednotkách proměnných nabývají řádu 10^1 až 10^2 .

Ze srovnání vztahů (2.30) a (2.31) vyplývá již konstatovaná skutečnost, že intenzita zákrutu multifilu je lineární funkcí jediné proměnné, která při aplikaci proměnných v uvedených jednotkách má tvar

$$\kappa = 4,05669 \cdot 10^{-3} \alpha_h \quad (2.32)$$

Intenzita zákrutu podle vztahu (2.30) i koeficient zákrutu podle vztahu (2.31) jsou funkcí T_0 , Z a ρ , čili nezávisle proměnných veličin multifilu zakrucovaného na kroutícím zařízení s nastavitelnou odváděcí rychlostí.

Pro multifil zakrucovaný na kroutícím zařízení s nastavitelnou příváděcí rychlostí, kdy nezávisle proměnnými veličinami jsou T_0 , Z a ρ , byl v kap. 1.5 definován latentní koeficient zákrutu podle vztahu

$$\alpha_l = \sqrt{\frac{T_0}{\rho}} Z_l \quad (2.33)$$

Při projektování stejně intenzivně zakroucených multifilů, čili geometricky podobných, se u nás používá koeficient zákrutu podle Koechlina v normalizovaných jednotkách $\text{ktx}^{1/2}\text{m}^{-1}$ a tvaru

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{T}{1000}} Z \quad (2.34)$$

Vzhledem k plošnému charakteru koeficientů zákrutu α_h a α_l se pro multifil jako výhodné jeví zavedení plošného koeficientu zákrutu podle Koechlina, definovaného vztahem (1.24); při uvedených jednotkách vyjmenovaných veličin má tvar

$$\tilde{\alpha}_k = \sqrt{\frac{T}{\rho}} Z \quad (2.35)$$

Jak již bylo uvedeno v teoretické analýze, intenzita zákrutu je identická s tangentou úhlu stoupání šroubovicových ovinů nehmotného vlákna na povrchu útvaru. Vzhledem k tomu, že poloměr ovinování reálného vlákna na povrchu můžeme vyjádřit jako rozdíl poloměru útvaru a poloměru vlákna, pro průměr ovinování tohoto vlákna se symbolem D_d potom platí

$$D_d = D - d \quad (2.36)$$

kde d je průměr vlákna. Z analogie s definičním vztahem (2.2) pro tangentu úhlu stoupání reálného vlákna na povrchu útvaru můžeme psát

$$\text{tg } \beta_d = \pi(D - d)Z \quad (2.37)$$

Jestliže tento vztah podělíme definičním vztahem (2.2) pro κ , za D dosadíme z (2.29), za d z (1.3) a počet vláken n vyjádříme jako podíl T_0/t , pro tangentu úhlu stoupání ovinů reálného vlákna na povrchu útvaru obdržíme

$$\operatorname{tg} \beta_d = \frac{\sqrt{n} - 0,87385}{\sqrt{n}} \kappa \quad (2.38)$$

Nyní můžeme přistoupit k ověření platnosti předpokladů přijatých pro nekonečná vlákna v teoretické analýze intenzity kroucení a k vypracování modelu kroucení jako množiny funkcí sloužících k projektování nebo predikování geometrických vlastností multifilu, případně pouze k rozšíření poznatků o zákonitostech kroucení svazku nekonečných vláken. K tomuto účelu slouží experimentální měření úhlu stoupání šroubovicových ovinů povrchových vláken jako funkci $\beta(T_0; Z_l; \rho)$ a hodnot seskání jako funkci $\delta(T_0; Z_l; \rho)$. Měření úhlu β probíhalo dvoufázově tak, že v první fázi na upraveném zákrutoměru byl vzorku multifilu udělen příslušný zákrut latentní Z_l . Ve druhé fázi úsek zakrouceného vzorku byl uchopen v přípravku zamezujícím rozkrucování a umístěn na otočný stolek mikroskopu opatřený úhlovou stupnicí s noniem a změřen úhel β . Zakrucování vzorků probíhalo při konstantním napětí vyvolaném závažím; u všech vzorků bylo použito stejné měrné napětí o hodnotě 0,018 N/tex, při kterém, jak se traduje, jsou napříměna všechna vlákna svazku. Pro výpočet hodnoty seskání δ měřeného vzorku podle definičního vztahu (1.12) byla měřena jeho délka l po zakroucení při nastavované upínací délce l_0 . Při vyhodnocení byl vypočítán aritmetický průměr měřených veličin, tangenta průměrného úhlu β a výběrová chyba měření podle známého vztahu

$$\partial x = \frac{t_{(P; \nu)} s}{\bar{x} \sqrt{n}} \cdot 100\% \quad (2.39)$$

kde $t_{(P; \nu)}$ je kvantil Studentova rozdělení, P pravděpodobnost, stupeň volnosti $\nu = n - 1$, n počet měření, s směrodatná odchylka, $\bar{x}$ výběrový aritmetický průměr. Počet měření $n = 20$ u měření seskání δ , $n = 25$ u úhlu β ; dle tabulek [19] $t_{(0,975;19)} = 2,0930$, $t_{(0,975;24)} = 2,0639$.

Pro experiment byly použity vzorky následujících druhů multifilu: PAD_h, VS_h, POP_h a PES_h. Nejčtenější zastoupení má PAD_h, u kterého družením monofilu nebo standardního multifilu byla vytvořena dvojice vzorků o stejné jemnosti a rozdílném počtu elementárních vláken a dvojice o rozdílné jemnosti ale stejném počtu vláken. Jmenovitě ze standardního multifilu PAD_h 10tex/18f čtyřnásobným družením

po předchozím ručním vynulování výrobního zákrutu byl vytvořen nestandardní vzorek PAD_h 40tex/18f; vzorek PAD_h 40tex/18f byl vytvořen osmnáctinásobným družením monofilu PAD_h 2,22tex/1f. Násobek písmene f za lomítkem v charakteristice multifilu vyjadřuje počet elementárních vláken. Protože předmětné experimentální měření bylo provedeno již v 60. letech, k prováděným výpočtům byly použity hodnoty hustoty jednotlivých druhů vláken podle údajů jejich výrobců, jmenovitě: $\rho_{PAD} = 1150 \text{ kgm}^{-3}$, $\rho_{VS} = 1510 \text{ kgm}^{-3}$, $\rho_{POP} = 910 \text{ kgm}^{-3}$ a $\rho_{PES} = 1380 \text{ kgm}^{-3}$.

S použitím naměřených hodnot seskání δ byl vypočítán zákrut jako funkce $Z(Z_i; \delta)$ podle vztahu (1.19) a jemnost $T(T_0; \delta)$ podle (1.14). Intenzita zákrutu jako funkce $\kappa(T_0; Z; \rho)$ byla vypočítána podle vztahu (2.30) a dále koeficienty zákrutu v pořadí $\alpha_k(T; Z)$ podle vztahu (2.34), $\tilde{\alpha}_k(T; Z; \rho)$ podle (2.35), $\alpha_h(T_0; Z; \rho)$ podle (2.31) a $\alpha_l(T_0; Z; \rho)$ podle (2.33). Nakonec byla vypočítána hodnota tangenty úhlu stoupání ovinů reálného vlákna na povrchu útvaru jako funkce $tg\beta_d(\kappa; n)$ podle vztahu (2.38). Hodnoty vyjmenovaných naměřených i vypočítaných veličin jsou zpracovány do tabulek a zařazeny v příloze pod označením Tab.1 až Tab.6.

Nyní můžeme přistoupit ke zpracování experimentálních a vypočítaných dat. V příloze práce pod označením Graf 1 je zobrazena základní, teoreticky odvozená funkce (2.32) intenzity zákrutu $\kappa(\alpha_h)$ a experimentální body multifilů použitých druhů. I když všechny body leží na přímce s teoreticky odvozenou hodnotou směrnice, graf nemá verifikační hodnotu, protože žádná ze souřadnic bodů nebyla stanovena experimentálně.

Verifikaci platnosti v teoretické analýze intenzity kroucení přijatých předpokladů provedeme porovnáním hodnot tangenty experimentálně měřeného úhlu $tg\beta$ s hodnotami $tg\beta_d$, vypočítanými podle teoretického vztahu (2.38). Protože v ideálním případě jsou tyto tangenty stejné, provedeme nahrazení funkce $tg\beta(tg\beta_d)$ přímkou procházející počátkem. V tomto případě jde o verifikační regresi, u které verifikačním kriteriem je hodnota směrnice, případně její odchylka od jedničky.

V celé práci kvalitu dosažené těsnosti proložení u lineární a linearizované regrese hodnotím koeficientem korelace R [1], u nelineární regresní regrese D^2 [%], který je stonásobkem koeficientu determinace. Predikční schopnost regresního modelu a tudíž také regresní funkce charakterizuje střední kvadratická chyba predikce MEP , která je definována vztahem

$$MEP = \frac{1}{n} \sum_{(i)} [y_i - f(x_i)]^2 \quad (2.40)$$

kde n je počet bodů, y_i je i -tá hodnota proměnné a $f(x_i)$ i -tá hodnota proměnné stanovená z regresní funkce.

Jako pomocnou hodnotu pro posouzení regresního modelu u všech regresí zavádím interval relativních chyb regrese $\langle R_a \rangle$. Mezní hodnoty tohoto intervalu se vypočítají podle vztahu

$$R_{ai} = \frac{f(x_i) - y_i}{y_i} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.41)$$

V této stati jsem při řešení regresních úloh použil výpočetní programy, které byly popsány v práci [4] a jsou k dispozici ve fakultní počítačové síti. Pro zmíněnou regresi jsem použil příslušná data obsažena v Tab.1 až Tab.6, výpočetní program Lineární regrese a regresní model $y = px$. Výsledkem numerického řešení na PC počítači je regresní funkce a její testační charakteristiky

$$tg \beta = 1,00480 \, tg \beta_d \quad (2.42)$$

$$R = 0,99894$$

$$MEP = 1,44930 \cdot 10^{-4}$$

$$R_a \in \langle -3,98 ; 6,58 \rangle \%$$

Pro možnost vizuálního posouzení regresní funkce (2.42) všechny experimentální body jsou zobrazeny na Grafu 2 v příloze.

Na základě relativně malých odchylek regresního parametru p a koeficientu korelace R od jedničky a malé hodnoty střední kvadratické chyby predikce MEP můžeme konstatovat statistickou shodu mezi experimentálně měřenou tangentou $tg \beta$ a její vypočítanou hodnotou $tg \beta_d$.

Toto konstatování můžeme ještě podepřít testem rozdílu mezi dvěma středními hodnotami. Jestliže vypočítáme i -té hodnoty parametru p_i jako podíly $tg \beta_i / tg \beta_{di}$ a statisticky je vyhodnotíme, obdržíme: $\bar{p} = 0,99795$, $s = 0,02674$, $n = 33$. Testační statistika [20] se vypočítá podle vztahu

$$t_s = \frac{1 - \bar{p}}{s} \sqrt{n} \quad (2.43)$$

a po vyčíslení má hodnotu $t_s = 0,4407$. Normalitu rozdělení parametru p předjímejme na základě počtu jeho pod a nadprůměrných hodnot, který je v poměru 16/17. Protože z tabulek [19] kvantil Studentova rozdělení $t_{(0,975; 32)} = 2,0369$ je větší než testační

statistika t_s , rozdíl mezi hodnotou $\bar{p}$ a jedničkou je s 95% statistickou jistotou statisticky nevýznamný. Výsledky obou statisticky rozdílných metod verifikace nás opravňují konstatovat, že předpoklady přijaté v teoretické části o konstantnosti průměru multifilu jsou platné a tudíž že obecnou platnost má rovněž vztah (2.29) a při kroucení s nastavitelnou odváděcí rychlostí také vztahy (2.30) a (2.32).

Pro praktickou aplikaci je vhodný vztah pro výpočet zákrutu, který podmiňuje projektovanou hodnotu intenzity zákrutu κ ; po vyjádření ze závislosti (2.30) pro tento zákrut, který nazveme projektovaný, platí

$$Z = 246,506 \sqrt{\frac{\rho}{T_0}} \kappa \quad (2.44)$$

Jestliže κ vyjádříme z (2.38) a dosadíme do (2.44), obdržíme vztah pro výpočet projektovaného zákrutu, podmiňujícího žádanou hodnotu úhlu stoupání šroubovicových ovínů β_d reálného periferního vlákna multifilu, ve tvaru

$$Z = 246,506 \sqrt{\frac{n\rho}{T_0(\sqrt{n}-0,874)^2}} \operatorname{tg} \beta_d \quad (2.45)$$

Řešením definičních vztahů (2.31) a (2.35) za podmínky $Z = \text{konst.}$ a po zohlednění vztahu (1.19) obdržíme vztah, pro který zavedeme název převodní

$$\alpha_h = \tilde{\alpha}_K \sqrt{1-\delta} \quad (2.46)$$

Jestliže za α_h dosadíme z (2.46) do (2.32), pro intenzitu zákrutu obdržíme závislost

$$\kappa = 4,05669 \cdot 10^{-3} \tilde{\alpha}_K \sqrt{1-\delta} \quad (2.47)$$

Protože závislost $\delta(\tilde{\alpha}_K)$ neznáme, intenzitu zákrutu jako funkci jediné proměnné stanovíme regresí. Zohledníme-li přibližné řešení výrazu $\sqrt{1-\delta} \doteq 1-\delta/2$ a poznatky z práce [8] o obecně parabolické funkční závislosti seskání na koeficientech zákrutu, k řešení této úlohy použijeme typ regresní funkce $y = p_1 x + p_2 x^{p_3}$, hodnoty κ a $\tilde{\alpha}_K$ z tabulek Tab.1 až Tab.6 a výpočetní program Nelineární regrese Minopt z fakultní počítačové sítě. Výsledkem numerického řešení na PC počítači je regresní funkce a její testační charakteristiky

$$\kappa = 4,16548 \cdot 10^{-3} \tilde{\alpha}_K - 1,62096 \cdot 10^{-6} \tilde{\alpha}_K^{2,03079} \quad (2.48)$$

$$D^2 = 99,98552 \%$$

$$MEP = 1,48630 \cdot 10^{-5}$$

$$R_a \in \langle -0,79 ; 1,56 \rangle$$

Regresní funkce $\kappa(\tilde{\alpha}_K)$ je zobrazena na Grafu 3 a s tímto označením je zařazena v příloze práce. Z číselného i grafického zpracování je zřejmé velmi těsné proložení a vysoká predikční schopnost regresní funkce.

Z rovnosti levých stran funkcí (2.32) a (2.48) lze odvodit použitelnou alternativu k převodnímu vztahu (2.46), která má tvar

$$\alpha_h = 1,027 \tilde{\alpha}_K - 3,996 \cdot 10^{-4} \tilde{\alpha}_K^{2,031} \quad (2.49)$$

Řešením definičních vztahů (2.34) a (2.35) za podmínky $Z = \text{konst.}$ obdržíme převodní vztah

$$\tilde{\alpha}_K = \sqrt{\frac{1000}{\rho}} \alpha_K \quad (2.50)$$

Jestliže nyní za $\tilde{\alpha}_K$ dosadíme z (2.50) do (2.48), po matematické úpravě pro intenzitu zákrutu jako funkci klasického koeficientu zákrutu podle Koechlina obdržíme

$$\kappa = \frac{0,132}{\sqrt{\rho}} \alpha_K - 1,803 \cdot 10^{-3} \rho^{-1,015} \alpha_K^{2,031} \quad (2.51)$$

Převodní vztah $\alpha_h(\alpha_K)$ po dosazení za α_K z (2.50) do (2.49) má tvar

$$\alpha_h = \frac{32,471}{\sqrt{\rho}} \alpha_K - 0,444 \rho^{-1,015} \alpha_K^{2,031} \quad (2.52)$$

Z hlediska tvaru základní funkce intenzity zákrutu poněkud složitější je situace při zakrucování multifilu na zařízeních s nastavitelnou rychlostí přívádění, pro která byl definován latentní koeficient zákrutu α_l .

Řešením definičních vztahů (2.31) a (2.33) za podmínky $Z = \text{konst.}$ a při zohlednění vztahu (1.19) obdržíme převodní vztah

$$\alpha_h = \frac{\alpha_l}{1-\delta} \quad (2.53)$$

Jestliže za α_h dosadíme z (2.53) do (2.32), pro intenzitu zákrutu obdržíme závislost

$$\kappa = 4,05669 \cdot 10^{-3} \frac{\alpha_l}{1-\delta} \quad (2.54)$$

Vzhledem k tomu, že funkci $\delta(\alpha_l)$ rovněž nepoznáme, po zohlednění přibližného řešení výrazu $(1-\delta)^{-1} \doteq 1+\delta$ a poznatků z práce [8], závislost (2.54) budeme aproximovat nelineární funkcí jediné proměnné $y = p_1 x + p_2 x^{p_3}$ s použitím výpočetního programu Nelineární regrese Minopt a příslušných dat obsažených v tabulkách Tab.1 až Tab.6. Výsledkem numerického řešení na PC počítači je regresní funkce a její testační charakteristiky

$$\begin{aligned} \kappa &= 4,01541 \cdot 10^{-3} \alpha_l + 1,19949 \cdot 10^{-8} \alpha_l^{3,14552} \\ D^2 &= 99,91900 \% \\ MEP &= 8,19080 \cdot 10^{-5} \\ R_a &\in \langle -2,69 ; 2,52 \rangle \% \end{aligned} \quad (2.55)$$

Regresní funkce $\kappa(\alpha_l)$ je zobrazena na Grafu 4. Z grafického i z číselného zpracování je opět zřejmá těsnost proložení a také vysoká predikční schopnost regresní funkce.

Jestliže nyní za α_l dosadíme z definičního vztahu (2.33) do (2.55), pro intenzitu zákrutu jako funkci $\kappa(T_0; Z_l; \rho)$ obdržíme

$$\kappa = 4,015 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{T_0}{\rho}} Z_l + 1,199 \cdot 10^{-8} \left(\frac{T_0}{\rho} \right)^{1,573} Z_l^{3,146} \quad (2.56)$$

Z podmínky rovnosti levých stran závislosti (2.32) a (2.55) obdržíme převodní vztah $\alpha_h(\alpha_l)$ ve tvaru

$$\alpha_h = 0,990 \alpha_l + 2,957 \cdot 10^{-6} \alpha_l^{3,146} \quad (2.57)$$

Jestliže do (2.57) dosadíme za α_h a α_l z definičních vztahů (2.31) a (2.33) a matematicky upravíme, pro predikovaný zákrut jako funkci $Z(T_0; Z_l; \rho)$ obdržíme

$$Z = 0,990 Z_l + 2,957 \cdot 10^{-6} \left(\frac{T_0}{\rho} \right)^{1,073} Z_l^{3,146} \quad (2.58)$$

Řešením definičních vztahů (2.31), (2.33) a vztahu (1.19) za podmínky $Z = \text{konst.}$ pro latentní koeficient zákrutu obdržíme

$$\alpha_l = (1 - \delta) \alpha_h \quad (2.59)$$

S odvoláním na práci [8] opět předpokládáme, že seskání multifilu je obecně parabolickou funkcí koeficientu zákrutu α_h ; platí-li tento předpoklad, funkční závislost (2.59) můžeme opět aproximovat nelineární funkcí jedné proměnné $y = p_1 x + p_2 x^{p_3}$ a použít výpočetní program Nelineární regrese Minopt jakož i příslušná data obsažena v tabulkách Tab.1 až Tab.6. Výsledkem numerického řešení na PC počítači je regresní funkce a její testační charakteristiky

$$\alpha_l = 1,03257 \alpha_h - 2,74442 \cdot 10^{-4} \alpha_h^{2,22119} \quad (2.60)$$

$$D^2 = 99,93793 \%$$

$$MEP = 2,40800$$

$$R_a \in \langle -1,82 ; 2,03 \rangle \%$$

Regresní funkce $\alpha_l(\alpha_h)$ je zobrazena na Grafu 5. Opět můžeme konstatovat těsnost proložení a vysokou predikční schopnost regresní funkce.

Jestliže do regresní funkce (2.60) za α_l a α_h dosadíme z definičních vztahů (2.31) a (2.33) a matematicky upravíme, obdržíme funkční závislost $Z_l(T_0; Z; \rho)$ ve tvaru

$$Z_l = 1,033 Z - 2,744 \cdot 10^{-4} \left(\frac{T_0}{\rho} \right)^{0,611} Z^{2,221} \quad (2.61)$$

Funkční závislost (2.61) má dvojí možnou interpretaci i aplikaci: při kroucení s nastavitelnou odváděcí rychlostí Z_l je predikovaný latentní zákrut; při kroucení s nastavitelnou přiváděcí rychlostí Z_l je projektovaný latentní zákrut podmiňující žádanou hodnotu zákrutu Z při daných T_0 a ρ .

Jestliže α_h vyjádříme ze základní teoretické funkce (2.31) a dosadíme spolu s α_l z definičního vztahu (2.33) do regresní funkce (2.60), po matematické úpravě pro projektovaný zákrut latentní, podmiňující žádanou intenzitu zakroucení multifilu, obdržíme

$$Z_l = 254,535 \sqrt{\frac{\rho}{T_0}} (\kappa - 0,221 \kappa^{2,221}) \quad (2.62)$$

Vyjádříme-li κ ze vztahu (2.38) a dosadíme do (2.62), po matematické úpravě pro projektovaný zákrut latentní, podmiňující žádanou hodnotu úhlu stoupání periferních ovinů reálného vlákna, obdržíme

$$Z_l = 254,535 \sqrt{\frac{\rho}{T_0}} \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{n} - 0,874} \operatorname{tg} \beta_d - 56,384 \sqrt{\frac{\rho}{T_0}} \left(\frac{\sqrt{n}}{\sqrt{n} - 0,874} \operatorname{tg} \beta_d \right)^{2,221} \quad (2.63)$$

Vyjádříme-li δ z definičního vztahu (1.19) a dosadíme do (1.14), pro jemnost T obdržíme

$$T = \frac{Z}{Z_l} T_0 \quad (2.64)$$

Jestliže nyní za Z dosadíme z (2.58) a matematicky upravíme, pro predikovanou jemnost jako funkci $T(T_0; Z_l; \rho)$ platí

$$T = 0,990 T_0 + 2,957 \cdot 10^{-6} \rho^{-1,073} T_0^{2,073} Z_l^{2,146} \quad (2.65)$$

Ze závislosti (2.65) můžeme vyjádřit projektovaný zákrut latentní, který podmiňuje žádanou jemnost T multifilu po zakroucení; provedením patřičných matematických kroků obdržíme

$$Z_l = 377,641 \sqrt{\frac{\rho}{T_0}} \left(\frac{T}{T_0} - 0,990 \right)^{0,466} \quad (2.66)$$

Nakonec po dosazení za α_h z (2.52) do (2.60) pro latentní koeficient zákrutu jako funkci $\alpha_l(\alpha_K; \rho)$ obdržíme poměrně složitou převodní funkci

$$\alpha_l = 33,528 \left(\frac{\alpha_K}{\sqrt{\rho}} - 0,014 \rho^{-1,015} \alpha_K^{2,031} \right) - 0,625 \left(\frac{\alpha_K}{\sqrt{\rho}} - 0,014 \rho^{-1,015} \alpha_K^{2,031} \right)^{2,221} \quad (2.67)$$

Z teoretické i teoreticko experimentální analýzy vyplynulo, že model geometrického chování multifilu krouceného při nastavitelné odváděcí rychlosti je podstatně jednodušší než model multifilu krouceného při nastavitelné přiváděcí rychlosti. Zatímco první model platí obecně, druhý v důsledku závislosti seskání multifilu na napětí při kroucení platí pouze pro měrná napětí rovná nebo blízká hodnotě 0,018 N/tex. Z výsledků práce [8] vyplývá, že zobecnění druhého modelu pro interval technologicky možných napětí při kroucení je možné, ale rozsahem experimentu by přerostlo rámec i zaměření této práce.

2.1.2 Intenzita kroucení staplové příze

Jak již bylo v práci uvedeno, kriteriem při tvorbě zákrutových standardů příze je intenzita kroucení na bázi koeficientu zákrutu. Dále je známou skutečností, že k tomuto účelu se ve světě používá koeficient zákrutu podle Koechlina s exponentem kroucení $q = 1/2$, v obou republikách bývalé československé federace koeficient zákrutu podle Phrixe s exponentem kroucení $q = 2/3$. Tento dualismus, který můžeme označit jako československé specifikum, bývá našimi textilními odborníky v oblasti teorie i praxe bagatelizován s odůvodněním, že buď rozdíl v normalizovaných zákrutech podle standardů s rozdílnou bází je zanedbatelný, nebo že koeficient zákrutu podle Phrixe je výhodnější pro jemné příze, obojí bez náležitého teoretického zdůvodnění. Z uvedených skutečností vyplývá potřeba kvalitativní a kvantitativní analýzy tohoto problému.

Předmětem kvalitativní analýzy je zjistit, zda stejné intenzity zakroucení přízí různých jemností se docílí při aplikaci koeficientu zákrutu buď podle Koechlina, nebo podle Phrixe, anebo jiného koeficientu s exponentem kroucení odlišným od $1/2$ i $2/3$. Protože lze předpokládat, že hodnota exponentu kroucení je závislá na druhu příze z hlediska druhu vlákna i technologie předení, kvalitativní stránka intenzity kroucení bude řešena v samostatných kapitolách pro vybrané druhy příze.

Předmětem kvantitativní analýzy popsání problému je kvantifikovat vliv uvedených hodnot exponentu kroucení na zákrutové standardy příze, případně popsat možný vliv na užité vlastnosti plošných textilií vyrobených z těchto přízí.

Z důvodu transformace na dnešní jednotky jemnosti a v zájmu zachování řádu jsou koeficienty normalizovány v jednotkách $\alpha_K [\text{ktx}^{1/2}\text{m}^{-1}]$ a $\alpha_F [\text{ktx}^{2/3}\text{m}^{-1}]$. Jestliže zachováme tuto tradici a zohledníme přepočít $T[\text{ktx}] = T[\text{tex}]/1000$, vztah pro výpočet koeficientu zákrutu podle Koechlina při zápisu s lomeným exponentem můžeme psát ve tvaru

$$\alpha_K = \left(\frac{T}{1000} \right)^{1/2} Z \quad (2.68)$$

Pro normalizovaný zákrut v m^{-1} , vyjádřený z definičního vztahu (2.68) a označený symbolem Z_K , platí

$$Z_K = \left(\frac{T}{1000} \right)^{-1/2} \alpha_K \quad (2.69)$$

Pro koeficient zákrutu podle Phrise a zákrut Z_F [m^{-1}] v normalizovaných jednotkách platí vztahy

$$\alpha_F = \left(\frac{T}{1000} \right)^{2/3} Z \quad (2.70)$$

$$Z_F = \left(\frac{T}{1000} \right)^{-2/3} \alpha_F \quad (2.71)$$

K vyjádření kvantitativní stránky vlivu uvedeného dualizmu při projektování zákrutových standardů příze zavedme podíl normalizovaných zákrutů Z_F/Z_K ; vydělením vztahů (2.71) a (2.69) pro tento podíl po úpravě obdržíme

$$\frac{Z_F}{Z_K} = 3,16228 T^{-1/6} \frac{\alpha_F}{\alpha_K} \quad (2.72)$$

Při aplikaci funkce (2.72) mohou nastat následující zvláštní případy.

- a) Z podmínky rovnosti zákrutů $Z_F = Z_K$ vyplývá vztah, který byl označen jako převodní, ve tvaru

$$\alpha_F = 0,31623 T^{1/6} \alpha_K \quad (2.73)$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že u běžných přízí, u kterých jemnost $T < 1000 \text{ tex}$, při stejných zákrutech je $\alpha_F < \alpha_K$. Z podmínky rovnosti zákrutů $Z_F = Z_K$ také vyplývá, že aplikací převodního vztahu (2.73) lze stanovit dvojice koeficientů zákrutů α_K a $\alpha_F(T; \alpha_K)$, při kterých je příze o jemnosti T stejně intenzívně zakroucena.

- b) Za podmínky, že jemnost příze $T = 1000 \text{ tex}$, pro podíl zákrutů platí

$$\frac{Z_F}{Z_K} = \frac{\alpha_F}{\alpha_K} \quad (2.74)$$

Tento zvláštní případ a jeho řešení má pouze teoretickou hodnotu, protože, jak již bylo uvedeno, běžné příze se vyrábí v jemnostech menších než 1000 tex.

- c) Při rovnosti koeficientů zákrutu $\alpha_F = \alpha_K$ pro podíl normalizovaných zákrutů platí vztah

$$\frac{Z_F}{Z_K} = 3,16228 T^{-1/6} \quad (2.75)$$

Ze vztahu (2.75) lze dovodit, že při rovnosti koeficientů zákrutu $\alpha_F = \alpha_K$ pro příze běžných jemností platí nerovnost normalizovaných zákrutů $Z_F > Z_K$ a že tato nerovnost se prohlubuje s klesající jemností příze. Touto skutečností bývá v české textilní literatuře zdůvodňována výhodnost používání koeficientu zákrutu podle Phrixe. Potřeba relativně většího zpevnění zákrutem u tenkých přízí je zdůvodňována větším podílem nezapředených konců vláken, který je způsoben relativně větším obvodem těchto přízí vzhledem k ploše jejich průřezu. Tímto zdůvodněním do projektování zákrutových standardů příze se zavádí fyzikální místo geometrického kritéria.

Proveřme nyní, zda koeficienty zákrutu α_F a α_K mohou nabýt stejných hodnot, případně za jakých podmínek. Podmínkou nutnou pro existenci rovnosti těchto koeficientů je průnik jejich intervalů. Protože, jak bylo prokázáno v odstavci ad a), při rovnosti zákrutů je pro běžné příze $\alpha_F < \alpha_K$, k průniku intervalů $\langle \alpha_F \rangle$ a $\langle \alpha_K \rangle$ tudíž dochází tehdy, jestliže $\alpha_{Fh} > \alpha_{Kd}$. Jestliže veličiny na dolní mezi předení označíme symboly T_d, Z_d a α_{Kd} , na horní mezi T_h, Z_h a α_{Fh} a nerovnost $\alpha_{Fh} > \alpha_{Kd}$ řešíme s použitím vztahů (2.68) až (2.71) odvodíme, že k průniku intervalů $\langle \alpha_F \rangle$ a $\langle \alpha_K \rangle$ dochází tehdy, jestliže platí

$$\frac{\alpha_{Fh}}{\alpha_{Fd}} > 3,16228 T_d^{-1/6} \quad (2.76)$$

Při známých mezních hodnotách koeficientu zákrutu podle Koechlina pozitivním kritériem existence průniku intervalů $\langle \alpha_F \rangle$ a $\langle \alpha_K \rangle$ je nerovnost

$$\frac{\alpha_{Kh}}{\alpha_{Kd}} > 3,16228 T_h^{-1/6} \quad (2.77)$$

Pro úplnost informací provedme ještě porovnání délek intervalů $\langle \alpha_F \rangle$ a $\langle \alpha_K \rangle$. Jestliže veličiny na mezích intervalů označíme stejnými symboly jako v předchozí analýze, potom délka intervalu $\langle \alpha_K \rangle$ je větší než délka intervalu $\langle \alpha_F \rangle$ tehdy, jestliže platí

$$\alpha_{Kh} - \alpha_{Kd} > \alpha_{Fh} - \alpha_{Fd} \quad (2.78)$$

Jestliže použijeme převodní vztah (2.73) s odůvodněním, že pro mezní hodnoty intervalů platí rovnost zákrutů $Z_F = Z_K$ a provedeme matematickou úpravu, potom nerovnost (2.78) platí tehdy, jestliže platí

$$\frac{\alpha_{Fh}}{\alpha_{Fd}} > \frac{T_d^{-1/6} - 0,31623}{T_h^{-1/6} - 0,31623} \quad (2.79)$$

Jestliže jsou známy mezní hodnoty koeficientu zákrutu α_K , analogickou matematickou úpravou lze nerovnost (2.78) přetransformovat na tvar

$$\frac{\alpha_{Kh}}{\alpha_{Kd}} > \frac{3,16223 - T_d^{1/6}}{3,16223 - T_h^{1/6}} \quad (2.80)$$

- d) Jestliže pro jemnost platí $T = T_d$ a tedy současně platí $Z = Z_d$, $\alpha_F = \alpha_{Fd}$ a $\alpha_K = \alpha_{Kd}$, z dolní okrajové podmínky předení platí rovnost zákrutů $Z_F = Z_K = Z_d$, tudíž pro podíl podle vztahu (2.72)

$$\frac{Z_F}{Z_K} = 1$$

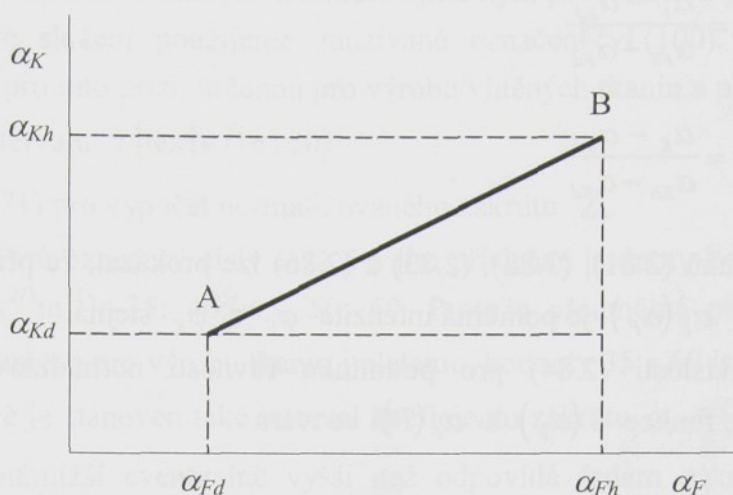
- e) Z analogie pro horní mezní jemnost T_h , kdy $Z = Z_h$, $\alpha_F = \alpha_{Fh}$ a $\alpha_K = \alpha_{Kh}$, platí rovnost zákrutů $Z_F = Z_K$ a pro jejich podíl

$$\frac{Z_F}{Z_K} = 1$$

V obecném případě, tedy pro náhodný výběr trojic nezávisle proměnných veličin z intervalů $\langle T \rangle$, $\langle \alpha_F \rangle$ a $\langle \alpha_K \rangle$, má funkce (2.72) neomezený počet řešení. Jako možný způsob zásadního snížení počtu řešení se jeví redukce počtu proměnných v této funkci.

Jsou-li pro daný druh příze stanoveny meze intervalu jemnosti a meze intervalu jednoho z koeficientů zákrutu, meze druhého lze stanovit podle převodního vztahu (2.73). Uvnitř každého z intervalů $\langle \alpha_F \rangle$ a $\langle \alpha_K \rangle$ jsou dvojice hodnot, které mají vzhledem k dolním mezím stejnou relativní polohu, vymezující stejný podíl z délky každého z intervalů. Tyto dvojice hodnot označme jako ekvivalentní.

Z uvedených skutečností vyplývá, že body o souřadnicích rovných ekvivalentním koeficientům zákrutu α_F a α_K leží na úsečce vymezené body $A(\alpha_{Fd}; \alpha_{Kd})$ a $B(\alpha_{Fh}; \alpha_{Kh})$, jak je znázorněno na obrázku 2.



Obr. 2 Lineární nahrazení funkční závislosti $\alpha_K(\alpha_F)$

Necht' přímka procházející body A a B neprochází počátkem; potom pro její rovnici ve směnicovém tvaru můžeme psát

$$\alpha_K = a\alpha_F + b \quad (2.81)$$

přičemž a a b jsou rozměrové konstanty, jmenovitě a [$\text{ktex}^{-1/6}$], b [$\text{ktex}^{1/2}\text{m}^{-1}$], pro které platí

$$a = \frac{\alpha_{Kh} - \alpha_{Kd}}{\alpha_{Fh} - \alpha_{Fd}} \quad (2.82)$$

$$b = \alpha_{Kd} - a\alpha_{Fd} \quad (2.83)$$

Jestliže nyní do závislosti (2.72) za α_K dosadíme ekvivalentní koeficient zákrutu $\alpha_K(\alpha_F)$ podle (2.81), pro podíl normalizovaných zákrutů jako funkci pouze dvou proměnných obdržíme

$$\frac{Z_F}{Z_K} = 3,16228 T^{-1/6} \frac{\alpha_F}{a\alpha_F + b} \quad (2.84)$$

Na základě analogie s definičním vztahem (2.17) pro poměrnou intenzitu kroucení na bázi koeficientu zákrutu α_F , kterou označíme symbolem φ_F a poměrnou intenzitou φ_K na bázi α_K , platí vztahy

$$\varphi_F = \frac{\alpha_F - \alpha_{Fd}}{\alpha_{Fh} - \alpha_{Fd}} \quad (2.85)$$

$$\varphi_K = \frac{\alpha_K - \alpha_{Kd}}{\alpha_{Kh} - \alpha_{Kd}} \quad (2.86)$$

Řešením vztahů (2.81), (2.82), (2.83) a (2.86) lze prokázat, že při ekvivalentních hodnotách α_F a $\alpha_K(\alpha_F)$ je poměrná intenzita φ_F a φ_K stejná.

Řešením závislosti (2.84) pro podmínku rovnosti normalizovaných zákrutů $Z_F = Z_K$ obdržíme funkce $T(\alpha_F)$ a $\alpha_F(T)$ ve tvaru

$$T = 1000 \left(\frac{\alpha_F}{a\alpha_F + b} \right)^6 \quad (2.87)$$

$$\alpha_F = \frac{bT^{1/6}}{3,16228 - aT^{1/6}} \quad (2.88)$$

Pomocí funkce (2.87) můžeme predikovat jemnost jako funkci $T(\alpha_F)$, při které jsou normalizované zákruty Z_F a Z_K stejné, tudíž stejná je také intenzita zakroucení na bázi α_F i α_K .

Funkce (2.88) predikuje koeficient zákrutu podle Phrise jako funkci $\alpha_F(T)$, při kterém jsou stejné normalizované zákruty Z_F a Z_K , tudíž stejná je také intenzita zakroucení na bázi α_F i α_K . Závislost (2.84) má pro T z (2.87) i pro α_F z (2.88) jednotkové řešení.

Pro celoplošnou bilanci normalizovaných zákrutů Z_F a Z_K lepší vypovídací schopnost než průměrná hodnota jejich podílu má podíl jejich sumárních hodnot, který označíme symbolem $\sum Z_F / \sum Z_K$.

Vztah pro výpočet tohoto podílu získáme vydělením normalizovaného zákrutu Z_F podle (2.71) a zákrutu $Z_K(T; \alpha_K)$ podle (2.69), transformovaného aplikací vztahu (2.81). Po provedené úpravě podle pravidel sumace obdržíme

$$\frac{\sum Z_F}{\sum Z_K} = \frac{3,16228 \sum_{(i)} T_i^{-2/3} \sum_{(j)} \alpha_{Fj}}{a \sum_{(i)} T_i^{-1/2} \left(\sum_{(j)} \alpha_{Fj} + \frac{b}{a} n_j \right)} \quad (2.89)$$

kde n_j je počet hodnot α_{Fj} v hodnoceném intervalu.

Obecnou kvantitativní analýzu konkretizujme nyní pro vlněnou přízi česanou, pro jejíž materiálové složení použijeme zaužívané označení vl (100). Oborová norma ON 80 2320 [6] pro tuto přízi, určenou pro výrobu vlněných tkanin a pletenin, stanovuje pro jemnost z intervalu $T[\text{tex}] \in \langle 16; 50 \rangle$

- a) vztah (2.71) pro výpočet normalizovaného zákrutu Z_F
- b) řady zákrutů označené čísly 1 až 5 a jim příslušné hodnoty koeficientu zákrutu $\alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$: 35; 40; 45; 50; 60. Protože předmětná příze je citovanou normou určena pro výrobu tkanin i pletenin, hodnoty 35 a 60 jsou mezní, a tudíž implicitně je stanoven také interval koeficientu zákrutu $\alpha_F \in \langle 35; 60 \rangle$. Zákruty, které jsou nižší eventuelně vyšší než odpovídá řadám zákrutů 1 a 5, jsou citovanou normou deklarovány za nestandardní.

Jestliže z převodního vztahu (2.73) vyjádříme funkci $\alpha_K(T; \alpha_F)$ a dosadíme mezní hodnoty intervalů $\langle T \rangle$ a $\langle \alpha_F \rangle$, vypočítáme mezní hodnoty koeficientu zákrutu α_K ; citovanou normou je tudíž implicitně stanoven také interval $\alpha_K [\text{ktex}^{1/2} \text{m}^{-1}] \in \langle 69,72; 98,85 \rangle$.

Na základě normou stanovených a dlouholetou praxí ověřených intervalů $\langle T \rangle$, $\langle \alpha_F \rangle$ a $\langle \alpha_K \rangle$ můžeme ověřit reálnost některých zvláštních případů a jejich řešení základní funkce (2.72), uvedených v teoretické analýze. Z tohoto srovnání vyplývá, že pro mezní hodnoty koeficientů zákrutu platí nerovnost $\alpha_{F_h} < \alpha_{K_d}$, v důsledku čehož nedochází k průniku jejich intervalů a tudíž ani nemůže nastat rovnost $\alpha_F = \alpha_K$, uvažovaná v odstavci ad c). Ze srovnání také vyplývá, že délka intervalu $\langle \alpha_K \rangle$ je větší než délka intervalu $\langle \alpha_F \rangle$. Praktickým výpočtem podle vztahů (2.76), (2.77), (2.79) a (2.80) lze uvedené skutečnosti predikovat.

Rozměrové konstanty a a b ve funkci (2.81), vypočítané podle vztahů (2.82) a (2.83) po dosazení mezních hodnot intervalů $\langle \alpha_F \rangle$ a $\langle \alpha_K \rangle$ pro přízi vl (100), nabývají hodnot

$$a = 1,16517 \text{ ktex}^{-1/6}$$

$$b = 28,94304 \text{ ktex}^{1/2} \text{m}^{-1}$$

Po dosazení číselných hodnot a a b do příslušných vztahů a po úpravě pro $\alpha_K(\alpha_F)$, Z_F/Z_K , $T(\alpha_F)$, $\alpha_F(T)$ a $\sum Z_F / \sum Z_K$ obdržíme závislosti:

$$\alpha_K = 1,16517 \alpha_F + 28,94304 \quad (2.90)$$

$$\frac{Z_F}{Z_K} = 2,71401 \frac{\alpha_F T^{-1/6}}{\alpha_F + 24,84019} \quad (2.91)$$

$$T = 399,64 \left(\frac{\alpha_F}{\alpha_F + 24,84019} \right)^6 \quad (2.92)$$

$$\alpha_F = \frac{24,84019 T^{1/6}}{2,71401 - T^{1/6}} \quad (2.93)$$

$$\frac{\sum Z_F}{\sum Z_K} = 2,71401 \frac{\sum_{(i)} T_i^{-2/3} \sum_{(j)} \alpha_{Fj}}{\sum_{(i)} T_i^{-1/2} \left(\sum_{(j)} \alpha_{Fj} + 24,84019 n_j \right)} \quad (2.94)$$

Jestliže do vztahů (2.85) a (2.86) dosadíme mezní hodnoty intervalů $\langle \alpha_F \rangle$ a $\langle \alpha_K \rangle$, pro poměrné intenzity kroucení φ_F a φ_K v (100) příze česané obdržíme

$$\varphi_F = \frac{\alpha_F - 35}{25} \quad (2.95)$$

$$\varphi_K = \frac{\alpha_K - 69,72}{29,13} \quad (2.96)$$

Po vyjádření α_F z (2.95) a dosazení do (2.71) matematickou úpravou obdržíme normalizovaný zákrut Z_F jako funkci $Z_F(\varphi_F)$ ve tvaru

$$Z_F = (2500 \varphi_F + 3500) T^{-2/3} \quad (2.97)$$

Analogickým postupem pro normalizovaný zákrut Z_K jako funkci $Z_K(\varphi_K)$ obdržíme

$$Z_K = (921,14 \varphi_K + 2204,86) T^{-1/2} \quad (2.98)$$

Jestliže nyní vztahy (2.97) a (2.98) podělíme a upravíme pro podmínku rovnosti poměrné intenzity kroucení $\varphi_K = \varphi_F$, pro podíl normalizovaných zákrutů obdržíme

$$\frac{Z_F}{Z_K} = \frac{2500 \varphi_F + 3500}{921,14 \varphi_F + 2204,86} T^{-1/6} \quad (2.99)$$

Z podmínky rovnosti normalizovaných zákrutů $Z_F = Z_K$ z (2.99) vyjádříme jemnost jako funkci $T(\varphi_F)$, při které je příze zakroucena se stejnou intenzitou kroucení na bázi α_F i α_K ; po matematické úpravě obdržíme

$$T = \left(\frac{2500 \varphi_F + 3500}{921,14 \varphi_F + 2204,86} \right)^6 \quad (2.100)$$

Funkční závislost $\varphi_F(T)$, vyjádřená z (2.100), predikuje poměrnou intenzitu kroucení $\varphi_F = \varphi_K$, při které jsou stejné normalizované zákruty Z_F a Z_K , tudíž také stejná intenzita zakroucení na bázi α_F i α_K ; po provedené matematické úpravě tato funkce má tvar

$$\varphi_F = \frac{2204,86 T^{1/6} - 3500}{2500 - 921,14 T^{1/6}} \quad (2.101)$$

Funkční závislosti (2.99) až (2.101), řešené na bázi stejné poměrné intenzity kroucení φ_F a φ_K , představují alternativu k závislostem (2.84), (2.87) a (2.88), řešeným na bázi ekvivalentních koeficientů zákrutu α_F a $\alpha_K(\alpha_F)$.

Poměrnou intenzitu kroucení φ_F nebo φ_K můžeme také použít jako kritérium při tvorbě zákrutových standardů, případně k přetransformování stávajících norem. Podle oborové normy ON 80 2320 [6], transformované na bázi poměrné intenzity kroucení φ_F , normalizovaný zákrut jako funkce $Z_F(T; \varphi_F)$ se vypočítá podle vztahu (2.97). Řadám zákrutů 1 až 5 přísluší hodnoty poměrné intenzity kroucení v pořadí φ_F : 0; 0,2; 0,4; 0,6; 1. Tyto hodnoty byly vypočítány podle vztahu (2.95) po dosazení hodnot α_F příslušných ke stejným řadám zákrutů podle původní normy. Pro úplnost ještě uvedme, že i transformovaná oborová norma je platná pouze pro jemnost vl (100) příze česané z intervalu $T \in \langle 16; 50 \rangle$ tex. Při převedení původní oborové normy na bázi koeficientu zákrutu α_K jsou k řadám zákrutů příslušné hodnoty poměrné intenzity kroucení φ_K stejné jako hodnoty φ_F , normalizovaný zákrut jako funkce $Z_K(T; \varphi_K)$ se vypočítá podle vztahu (2.98).

Nyní provedme výpočet podílu normalizovaných zákrutů podle vztahu (2.91) pro mezní hodnoty šesti stejně velkých třídních intervalů $\langle \alpha_F \rangle$ a sedmi třídních

intervalů $\langle T \rangle$. Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce TAB.I. Pro snazší orientaci silnou čarou jsou navzájem odděleny hodnoty podílu normalizovaných zákrutů rovné jedné, menší a větší než jedna.

TAB.I

T [tex]	α_F [ktex ^{2/3} m ⁻¹]						
	35	39,17	43,33	47,50	51,67	55,83	60
	$Z_F : Z_K$						
16	1	1,0462	1,0867	1,1226	1,1546	1,1833	1,2091
20	0,9653	1,0080	1,0471	1,0817	1,1125	1,1401	1,1650
25	0,9283	0,9712	1,0088	1,0422	1,0719	1,0984	1,1225
30	0,9005	0,9422	0,9786	1,0110	1,0398	1,0656	1,0889
35	0,8770	0,9183	0,9538	0,9853	1,0134	1,0385	1,0612
40	0,8584	0,8981	0,9328	0,9636	0,9911	1,0157	1,0379
45	0,8417	0,8806	0,9147	0,9449	0,9718	0,9959	1,0177
50	0,8270	0,8653	0,8988	0,9285	0,9549	0,9786	1

Z tabulky je zřejmé, že hodnoty podílu normalizovaných zákrutů rostou proti směru nárůstu jemnosti příze T pro každé α_F , jakož i po směru α_F pro každé T . Z uvedených skutečností vyplývá, že při zakrucování se stejnou poměrnou intenzitou kroucení φ_F a φ_K je normalizovaný zákrut Z_F tím větší než zákrut Z_K , čím je příze jemnější a čím je větší intenzita jejího zakroucení.

Mnozí praktici i někteří autoři, např. Ursíny [25], uvádějí, že při aplikaci koeficientu zákrutu α_F se jemným přízím uděluje větší zákrut než při použití α_K . Toto tvrzení považují za pozitivní s odůvodněním, že u jemnějších přízí je menší koeficient zapředení vláken než u přízí hrubších a z toho důvodu vyžadují větší zpevnění zákrutem. Z tabulky hodnot podílu normalizovaných zákrutů ovšem vyplývá, že při dolní mezní hodnotě koeficientu zákrutu $\alpha_F = 35$, kde je potřeba technologické pevnosti nejcitelnější, pro každou jemnost příze $T > 16$ tex je podíl $Z_F/Z_K < 1$, tudíž zákruty $Z_K > Z_F$. Tato skutečnost nejenom že prokazatelně vyvrací výše uvedené důvody, kterými je upřednostňováno používání koeficientu zákrutu α_F , ale naopak mluví jednoznačně ve prospěch koeficientu zákrutu α_K .

Intenzitu kroucení na bázi α_F rozdělme nyní na tři stejně velké oblasti a tyto vymezme přízím podle účelu jejich použití. Ve smyslu uvedeného dílčí

interval $\alpha_F \in \langle 35; 43,33 \rangle$ označme jako oblast kroucení pletacích přízí, interval $\alpha_F \in \langle 43,33; 51,67 \rangle$ oblast kroucení přízí útkových a interval $\alpha_F \in \langle 51,67; 60 \rangle$ oblast kroucení přízí osnovních. Z tabulky TAB.I vyplývá, že v oblasti kroucení pletacích přízí je významně větší četnost podílů menších než jedna, v oblasti přízí útkových je stejná četnost podílů větších a menších než jedna a v oblasti kroucení přízí osnovních významně převládají podíly větší než jedna.

Rozšíříme tuto analýzu o celoplošnou bilanci na základě výpočtu podílu sumárního počtu zákrutu v celém intervalu jemnosti $\langle T \rangle$ a v celém i v dílčích intervalech $\langle \alpha_F \rangle$. K tomuto účelu nechť α_F nabývá pouze celočíselných hodnot, tudíž

$$\alpha_{Fj} = 35; 36; \dots; 59; 60 \text{ ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}$$

$$n_j = 26$$

Pro jemnost použijme rozšířenou řadu podle ČSN 80 0050 [24], jmenovitě

$$T_i = 16; 17; \dots 25; 26; 28; \dots 36; 37; 38; 40; \dots 48; 50 \text{ tex}$$

$$n_i = 24$$

I při celoplošné bilanci normalizovaných zákrutů vymežeme přízím oblasti kroucení podle účelu jejich použití, jmenovitě dílčí interval $\alpha_F \in \langle 35; 43 \rangle$ přízím pletacím, $\alpha_F \in \langle 44; 52 \rangle$ přízím útkovým a $\alpha_F \in \langle 53; 60 \rangle$ přízím osnovním.

Jestliže nyní provedeme výpočet podle vztahů (2.94) a (2.91) pro podíly sumárních a mezních hodnot podílu normalizovaných zákrutů, ve vyjmenovaných intervalech $\langle \alpha_F \rangle$ obdržíme následující výsledky.

$$\begin{array}{lll} \alpha_{Fj} \in \langle 35; 60 \rangle & \frac{\sum Z_F}{\sum Z_K} = 1,0291 & \frac{Z_F}{Z_K} \in \langle 0,8270; 1,2091 \rangle \\ n_j = 26 & & \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \alpha_{Fj} \in \langle 35; 43 \rangle & \frac{\sum Z_F}{\sum Z_K} = 0,9575 & \frac{Z_F}{Z_K} \in \langle 0,8270; 1,0837 \rangle \\ n_j = 9 & & \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \alpha_{Fj} \in \langle 44; 52 \rangle & \frac{\sum Z_F}{\sum Z_K} = 1,0328 & \frac{Z_F}{Z_K} \in \langle 0,9038; 1,1570 \rangle \\ n_j = 9 & & \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \alpha_{Fj} \in \langle 53; 60 \rangle & \frac{\sum Z_F}{\sum Z_K} = 1,0887 & \frac{Z_F}{Z_K} \in \langle 0,9628; 1,2091 \rangle \\ n_j = 8 & & \end{array}$$

Z celoplošné bilance normalizovaných zákrutů Z_F a Z_K , tudíž přes celou délku intervalu $\langle \alpha_F \rangle$, vyplývá, že vl (100) přízi česané se udělí o 2,91% více zákrutů Z_F než Z_K a v dílčích oblastech kroucení pletacím přízím o 4,25% méně, útkovým o 3,28% více a osnovním přízím o 8,87% více zákrutů Z_F než Z_K . Z uvedeného rovněž vyplývá, že v celkové bilanci se tkaninám uděluje o 12,15% více zákrutů Z_F než Z_K .

Na základě výsledků provedené analýzy formou bodové i celoplošné bilance normalizovaných zákrutů Z_F a Z_K můžeme konstatovat, že při používání koeficientu zákrutu α_F k tvorbě zákrutových standardů vzhledem ke standardům na bázi α_K jsou pletací příze podkroucené a útkové a osnovní překroucené. Tato teoretická zjištění potvrzují tradovanou empirickou zkušenost, že v důsledku používání koeficientu zákrutu α_F vyrábíme vzhledem k ostatním zemím měkké pleteniny a tvrdé tkaniny a že v celkové bilanci udělujeme více zákrutů.

Protože vyšší počet zákrutů i tvrdost tkanin působí negativně na nákladovou stránku výroby i na konkurenceschopnost výrobků a nepřesvědčivě vyzněly argumenty o větším zpevnění tenkých přízí při aplikaci α_F , z provedené analýzy nevyplynul jediný racionální důvod na podporu používání k nám importovaného koeficientu zákrutu podle Phrise. Domnívám se, že z uvedených teoreticky doložených důvodů, i z důvodů ryze praktických, jako kandidátská země pro vstup do EU bychom měli působit na naši předláckou veřejnost a na tvůrce norem, aby se i u nás používal koeficient zákrutu podle Koechlina. Pro textilní teoretiky zůstává ještě úkol prověřit, který z analyzovaných koeficientů zákrutu splňuje teoretické kvalitativní předpoklady, případně alespoň pro nejfrektovanější druhy příze stanovit objektivně platné exponenty kroucení.

2.1.3 Linearizovaná korelační regrese

Jak již bylo uvedeno v kap. 1.5, v době tvorby geometrického modelu česaných přízí nebyla ještě vybudována fakultní počítačová síť, na které jsou v současné době k dispozici regresní výpočetní programy. Z toho důvodu jsem vypracoval původní řešení regresních úloh, které jsem pojmenoval jako linearizovanou korelační regresi.

Protože modelové regresní funkce platí vždy pouze pro jeden druh česané příze s konstantní hustotou ρ vláken, navzájem nezávislými veličinami popisujícími vlastnosti příze jsou jenom jemnost T a zákrut Z . Délkové vlákenné útvary obecně a příze zvláště vykazují značnou variabilitu geometrických a fyzikálních vlastností po délce. Na základě uvedeného také jemnost, zákrut i obecnou geometrickou veličinu A , charakterizující některou geometrickou vlastnost příze, můžeme považovat za náhodné veličiny.

Necht' obecná geometrická veličina A je mocninou funkcí koeficientu zákrutu α podle vztahu

$$A = p_1 \alpha^{p_2} \quad (2.102)$$

Koeficient zákrutu v normalizovaných jednotkách $\text{ktex}^q \text{m}^{-1}$ je součin q -té mocniny jemnosti T_k v kilotexech a zákrutu Z v metrech podle vztahu

$$\alpha = T_k^q Z \quad (2.103)$$

Potom funkce (2.102) nabývá tvaru

$$A = p_1 (T_k^q Z)^{p_2} \quad (2.104)$$

kde p_1 je rozměrová konstanta, q exponent kroucení a p_2 exponent, které souhrnně označíme jako parametry funkce (2.104).

Protože stanovení hodnot parametrů funkce (2.104) exaktním způsobem je velmi obtížné a mnohdy nemožné, jako schůdné se jeví řešení tohoto problému vhodnou regresí. Pro toto řešení funkce (2.104) ponese název regresní funkce a parametry p_1 , q a p_2 název regresní parametry.

Jestliže regresní funkci zlogaritmujeme, obdržíme

$$\ln A = \ln p_1 + p_2 \ln (T_k^q Z) \quad (2.105)$$

Zavedeme-li substituci

$$y = \ln A \quad (2.106)$$

$$a = p_2 \quad (2.107)$$

$$x = \ln (T_k^q Z) \quad (2.108)$$

$$b = \ln p_1 \quad (2.109)$$

funkce (2.105) přejde na linearizovanou přímku ve tvaru

$$y = ax + b \quad (2.110)$$

Nyní zavedme předpoklad, že nově vyjádřené proměnné x a y jsou také náhodné veličiny, že existuje takové q , při kterém regresní čarou experimentálně stanovených

hodnot těchto proměnných je přímka a že tyto hodnoty pochází z dvojrozměrného normálního rozdělení. Při splnění těchto předpokladů přímka (2.110) je linearizovaná regresní přímka, kterou můžeme úspěšně aproximovat funkci (2.105). Regresní parametry a a b této přímky, stanovené metodou nejmenších čtverců, se vypočítají podle vztahů, které podle [26] mají tvar

$$a = \frac{\sum_{(i)} x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{(i)} x_i \sum_{(i)} y_i}{\sum_{(i)} x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{(i)} x_i \right)^2} \quad (2.111)$$

$$b = \frac{\sum_{(i)} y_i - a \sum_{(i)} x_i}{n} \quad (2.112)$$

kde n je počet hodnot každé náhodné proměnné x a y .

Intenzitu statistické závislosti náhodných proměnných x a y , jakož i těsnost proložení linearizované regresní přímky, charakterizuje koeficient korelace R , který podle [26] je dán vztahem

$$R = \frac{\sum_{(i)} x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{(i)} x_i \sum_{(i)} y_i}{\sqrt{\left\{ \sum_{(i)} x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{(i)} x_i \right)^2 \right\} \left\{ \sum_{(i)} y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{(i)} y_i \right)^2 \right\}}} \quad (2.113)$$

Stanovení regresních parametrů pro daný druh příze nyní spočívá v experimentálním stanovení trojrozměrného souboru dat upraveného na typ $(T_i; Z_i; A_i)$, kde $i = 1, 2, \dots, n$, a ve vlastním řešení regresní úlohy, které může být analytické nebo numerické.

2.1.3.1 Analytické řešení linearizované korelační regrese

Nechť experimentální data jsou typu $(T_i; Z_i; A_i)$, nebo jsou na tento typ přetransformována. Jestliže nyní do sumací obsažených ve vztazích (2.111) až (2.113) za proměnné x a y dosadíme ze substitučních vztahů (2.106) a (2.108) a provedeme příslušnou matematickou úpravu, obdržíme následující výrazy

$$\sum_{(i)} x_i y_i = q \sum_{(i)} \ln T_{ki} \ln A_i + \sum_{(i)} \ln Z_i \ln A_i \quad (2.114)$$

$$\sum_{(i)} x_i = q \sum_{(i)} \ln T_{ki} + \sum_{(i)} \ln Z_i \quad (2.115)$$

$$\sum_{(i)} x_i^2 = q^2 \sum_{(i)} (\ln T_{ki})^2 + 2q \sum_{(i)} \ln T_{ki} \ln Z_i + \sum_{(i)} (\ln Z_i)^2 \quad (2.116)$$

$$\left(\sum_{(i)} x_i \right)^2 = q^2 \left(\sum_{(i)} \ln T_{ki} \right)^2 + 2q \sum_{(i)} \ln T_{ki} \ln Z_i + \left(\sum_{(i)} \ln Z_i \right)^2 \quad (2.117)$$

$$\sum_{(i)} y_i = \sum_{(i)} \ln A_i \quad (2.118)$$

$$\sum_{(i)} y_i^2 = \sum_{(i)} (\ln A_i)^2 \quad (2.119)$$

$$\left(\sum_{(i)} y_i \right)^2 = \left(\sum_{(i)} \ln A_i \right)^2 \quad (2.120)$$

Po numerickém vyčíslení výrazů (2.114) až (2.120) s použitím experimentálních dat $(T_i; Z_i; A_i)$ a převodního vztahu $T_k[\text{ktex}] = T[\text{tex}]/1000$ a po jejich dosazení do vztahů (2.111) až (2.113) a následné matematické úpravě obdržíme parametry linearizované přímky a koeficient korelace jako funkce exponentu kroucení, jmenovitě $a(q)$, $b(q)$ a $R(q)$.

Řešení této regrese nyní spočívá ve stanovení optimální hodnoty exponentu kroucení q_0 , při které je hodnota koeficientu korelace největší. Protože parametry a a b linearizované regresní přímky jsou také funkcemi exponentu kroucení, při jeho optimální hodnotě q_0 součet čtverců odchylek je minimální, tudíž

$$\sum_{(i)} [y_i - f(x_i)]^2 = \min \quad (2.121)$$

Stanovení optimální hodnoty exponentu kroucení lze provést vyhledáním lokálního extrému funkce $R(q)$ z podmínky

$$\frac{dR(q)}{dq} = 0$$

Po zohlednění postupu analytického řešení linearizované korelační regrese a tvaru substitučních vztahů (2.107) a (2.109) pro parametry regresní funkce (2.104) můžeme psát

$$q = q_0 \quad (2.122)$$

$$p_1 = \exp b(q_0) \quad (2.123)$$

$$p_2 = a(q_0) \quad (2.124)$$

Těsnost proložení linearizované regresní přímky (2.110) charakterizuje koeficient korelace, pro který platí

$$R = R(q_0) \quad (2.125)$$

V zájmu objektivnosti v posouzení výsledků regrese podle popsaného modelu výpočet hodnotících kritérií vztahujeme k aplikační regresní funkci (2.104). Potom střední kvadratická chyba predikace *MEP*, charakterizující predikční schopnost linearizované korelační regrese, se vypočítá podle vztahu

$$MEP = \frac{1}{n} \sum_{(i)} [A_i - f(\exp x_i)]^2 \quad (2.126)$$

Bodové hodnoty relativní chyby regrese R_{ai} se ve smyslu výše uvedeného vypočítají podle vztahu

$$R_{ai} = \frac{f(\exp x_i) - A_i}{A_i} 100 \quad [\%] \quad (2.127)$$

kde A_i je experimentální hodnota geometrické vlastnosti příze a pro $f(\exp x_i)$ ve smyslu vztahů (2.104) a (2.108) platí

$$f(\exp x_i) = p_1 (\exp x_i)^{p_2} \quad (2.128)$$

2.1.3.2 Numerické řešení linearizované korelační regrese

Pro numerické řešení této regrese na osobním počítači je třeba vypracovat výpočetní program. Algoritmus výpočtu podle tohoto programu vychází z algoritmu analytického řešení, čili z vhodného pořadí výpočtu podle vztahů (2.111) až (2.113) a (2.122) až (2.127). Tento program je třeba doplnit vhodným optimalizačním programem, kterým se stanoví optimální hodnota exponentu kroucení $q = q_0$, případně dalších parametrů, při kterých je hodnota koeficientu korelace největší. Dále je třeba

naprogramovat vyhledání mezních hodnot intervalu relativních chyb regrese $\langle R_a \rangle$, jmenovitě $-R_{a \max}$ a $+R_{a \max}$ a stanovení indexu těchto mezních hodnot.

V textilní experimentální praxi čteněji používanou proměnnou veličinou než zákrut je intenzita kroucení na bázi koeficientu zákrutu buď podle Phrixe nebo podle Koechlina, tudíž obvyklé jsou soubory experimentálních dat, které lze upravit na typ (T_i, α_{Fi}, A_i) nebo (T_i, α_{Ki}, A_i) . Protože při řešení problematiky práce se používají dva typy regresních funkcí, numerický výpočet linearizované korelační regrese probíhá podle rozdílných algoritmů v závislosti na typu regresní funkce a typu datového souboru.

A) Necht' regresní funkce je typu $A(\alpha)$, tudíž prochází bodem $P(0; 0)$. Linearizovaná proměnná y je dána vztahem (2.106) a je stejná pro všechny alternativy řešení bez ohledu na typ datového souboru. Naproti tomu proměnná x i tvar regresní funkce jsou závislé na typu datového souboru.

Aa) Necht' datový soubor je typu $(T_i; Z_i; A_i)$. Tomuto typu dat je ekvivalentní regresní funkce $A(T_k; Z)$ podle vztahu (2.104), jmenovitě

$$A = p_1 (T_k^q Z)^{p_2}$$

a linearizovaná proměnná x podle substitučního vztahu (2.108), jmenovitě

$$x = \ln (T_k^q Z)$$

Ab) Necht' datový soubor je typu $(T_i; \alpha_{Fi}; A_i)$. Jestliže z definičního vztahu pro koeficient zákrutu podle Phrixe zákrut vyjádříme jako funkci $Z(T_k; \alpha_F)$ a dosadíme do (2.104), po úpravě regresní funkce $A(T_k; \alpha_F)$ a linearizovaná proměnná x jsou dány vztahy

$$A = p_1 (T_k^{q-2/3} \alpha_F)^{p_2} \quad (2.129)$$

$$x = \ln (T_k^{q-2/3} \alpha_F) \quad (2.130)$$

Ac) Necht' datový soubor je typu $(T_i; \alpha_{Ki}; A_i)$. Jestliže nyní z definičního vztahu pro koeficient zákrutu podle Koechlina zákrut vyjádříme jako funkci $Z(T_k; \alpha_K)$ a provedeme analogickou úpravu jako u alternativy Ab), potom regresní funkce $A(T_k; \alpha_K)$ a linearizovaná proměnná x mají tvar

$$A = p_1 \left(T_k^{q-1/2} \alpha_K \right)^{p_2} \quad (2.131)$$

$$x = \ln \left(T_k^{q-1/2} \alpha_K \right) \quad (2.132)$$

Z předložené analýzy vyplývá, že řešení regresních úloh podle alternativ A) mají rozdílné vstupy a stejné výstupy.

Vstup: jeden z typů datového souboru, $T_k = T/1000$, $y = \ln A$ linearizovaná proměnná x příslušná k alternativě řešení, odhad intervalu $\langle q \rangle$.

Výstup: $q, p_1, p_2, R, MEP, \langle R_a \rangle$, index mezních hodnot R_a .

B) Necht' regresní funkce je typu $A(\alpha^*)$. Po aplikaci výrazu (1.56) tento typ funkce má tvar

$$A = p_1 \left(\alpha - K_Z T_k^{q+z} \right)^{p_2} \quad (2.133)$$

kde K_Z je rozměrová konstanta, q exponent kroucení a z exponent u jemnosti v aproximační funkci zákrutů $Z_0(T)$ podle (1.54). Pro součin v závorce funkce 2.133) zavedme označení $\alpha_0(T)$. Z uvedených skutečností potom vyplývá, že 3D regresní funkce (2.133) s typovým označením $A[\alpha - \alpha_0(T)]$ je množina izotexových funkcí a že každá z těchto funkcí nabývá nulové hodnoty v jiném bodě $P[\alpha_0(T); 0]$. Těsnost těchto izotexových funkcí ve sledované oblasti, vymezené okrajovými podmínkami kroucení, charakterizují testační modelové charakteristiky.

Při kladné hodnotě součtového exponentu $q+z$ definiční obor regresní funkce (2.133) je vymezen podmínkou

$$\alpha_d \geq K_Z T_{kh}^{q+z} \quad (2.134)$$

U regresních funkcí typu $A(\alpha^*)$ linearizovaná proměnná y je opět stejná pro všechny typy datového souboru, tvar proměnné x se s typem datového souboru mění.

Ba) Necht' datový soubor je typu $(T_i; Z_i; A_i)$. Po analogických úpravách funkce $A(\alpha^*)$ jako u regresní funkce $A(\alpha)$, ale s použitím vztahu (2.133), pro regresní funkci typového označení $A\{T; [Z - Z_0(T)]\}$ obdržíme

$$A = p_1 \left[T_k^q (Z - K_Z T_k^z) \right]^{p_2} \quad (2.135)$$

Z analogie se vztahem (2.104) a substitucí (2.108) pro linearizovanou proměnnou vyplývá závislost

$$x^* = \ln \left[T_k^q (Z - K_Z T_k^z) \right] \quad (2.136)$$

Bb) Necht' nyní datový soubor je typu $(T_i; \alpha_{Fi}; A_i)$. Jestliže zákrut opět vyjádříme jako funkci $Z(T_k; \alpha_F)$ a dosadíme do (2.135), po úpravě pro regresní funkci typového označení $A\{T; [\alpha_F - \alpha_{F0}(T)]\}$ a pro linearizovanou proměnnou obdržíme

$$A = p_1 \left[T_k^{q-2/3} (\alpha_F - K_Z T_k^{z+2/3}) \right]^{p_2} \quad (2.137)$$

$$x^* = \ln \left[T_k^{q-2/3} (\alpha_F - K_Z T_k^{z+2/3}) \right] \quad (2.138)$$

Bc) Necht' datový soubor je typu $(T_i; \alpha_{Ki}; A_i)$. Jestliže zákrut vyjádříme jako funkci $Z(T_k; \alpha_K)$ a provedeme analogickou úpravu jako v předchozí alternativě, pro regresní funkci typového označení $A\{T; [\alpha_K - \alpha_{K0}(T)]\}$ a pro linearizovanou proměnnou x obdržíme

$$A = p_1 \left[T_k^{q-1/2} (\alpha_K - K_Z T_k^{z+1/2}) \right]^{p_2} \quad (2.139)$$

$$x^* = \ln \left[T_k^{q-1/2} (\alpha_K - K_Z T_k^{z+1/2}) \right] \quad (2.140)$$

Řešení podle alternativ B) mají rovněž vstup závislý na typu datového souboru a stejný výstup.

Vstup: jeden z typů datového souboru, $T_k = T/1000$, $y = \ln A$ linearizovaná proměnná x příslušná k alternativě řešení, odhad intervalů $\langle q \rangle, \langle K_z \rangle, \langle z \rangle$.

Výstup: $q, K_Z, z, p_1, p_2, R, MEP, \langle R_a \rangle$, index mezních hodnot R_a .

CB) Zvláštní případy numerického řešení podle alternativ B)

CBaa) Jestliže v řešení regresní úlohy podle alternativy Ba) na vstupu položíme $z = 0$, rozměrová konstanta K_Z ve vztahu (2.135) má rozměr a význam zákrutu Z_0 a regresní funkce typového označení $A[T; (Z - Z_0)]$ nabývá tvaru

$$A = p_1 [T_k^q (Z - K_Z)]^{p_2} \quad (2.141)$$

CBab) Jestliže v řešení regresní úlohy podle alternativy Ba) na vstupu položíme $z = -q$, z regresní funkce (2.133) je zřejmé, že rozměrová konstanta K_Z má rozměr a význam koeficientu zákrutu α_0 s exponentem kroucení q a regresní funkce typového označení $A(\alpha - \alpha_0)$ nabývá tvaru

$$A = p_1 (\alpha - K_Z)^{p_2} \quad (2.133a)$$

Regresní funkce (2.133a) je zvláštním případem funkce (2.133), je 2D funkcí, tudíž v celém intervalu $\langle \alpha_0; \alpha_h \rangle$ společná pro příze všech jemností, nabývající nulové hodnoty v bodě $P(\alpha_0; 0)$.

CBb) Jestliže v řešení regresní úlohy podle alternativy Bb) na vstupu položíme $z = -2/3$, rozměrová konstanta K_Z ve vztahu (2.137) má rozměr a význam koeficientu zákrutu α_{F0} podle Phrixe a regresní funkce typového označení $A[T; (\alpha_F - \alpha_{F0})]$ nabývá tvaru

$$A = p_1 [T_k^{q-2/3} (\alpha_F - K_Z)]^{p_2} \quad (2.142)$$

CBc) Jestliže v řešení úlohy podle alternativy Bc) na vstupu položíme $z = -1/2$ rozměrová konstanta K_Z ve vztahu (2.139) má rozměr a význam koeficientu zákrutu α_{K0} podle Koechlina a regresní funkce typového označení $A[T; (\alpha_K - \alpha_{K0})]$ nabývá tvaru

$$A = p_1 [T_k^{q-1/2} (\alpha_K - K_Z)]^{p_2} \quad (2.143)$$

DB) Transformace alternativ B) numerického řešení na alternativy A).

Jestliže v alternativách řešení Ba), Bb) a Bc) na vstupu položíme $K_Z = 0$ a $z = 0$ (přičemž z může být rovno také libovolné konstantě), regresní funkce (2.135), (2.137) a (2.139) se transformují na regresní funkce (2.104), (2.129) a (2.131), tudíž na řešení podle alternativ Aa), Ab) a Ac).

E) Transformace typu datového souboru

Zařazením vhodných vztahů do algoritmu numerického řešení linearizované korelační regrese lze každý z uvedených typů datového souboru přetransformovat na zbylé dva typy, jak vyplývá z následující analýzy.

Ea) Datový soubor typu $(T_i; Z_i; A_i)$ můžeme přetransformovat na typ $(T_i; \alpha_{Fi}; A_i)$ použitím definičního vztahu pro koeficient zákrutu podle Phrixe

$$\alpha_{Fi} = T_{ki}^{2/3} Z_i \quad (2.144)$$

a na typ datového souboru $(T_i; \alpha_{Ki}; A_i)$ použitím definičního vztahu pro koeficient zákrutu podle Koechlina

$$\alpha_{Ki} = T_{ki}^{1/2} Z_i \quad (2.145)$$

Eb) Datový soubor typu $(T_i; \alpha_{Fi}; A_i)$ můžeme přetransformovat na typ $(T_i; Z_i; A_i)$ použitím vztahu pro zákrut jako funkci $Z(T_k; \alpha_F)$, jmenovitě

$$Z_i = T_{ki}^{-2/3} \alpha_{Fi} \quad (2.146)$$

a na typ $(T_i; \alpha_{Ki}; A_i)$ prostřednictvím převodního vztahu odvozeného z podmínky rovnosti zákrutů $Z_F = Z_K$, jmenovitě

$$\alpha_{Ki} = T_{ki}^{-1/6} \alpha_{Fi} \quad (2.147)$$

Ec) Datový soubor typu $(T_i; \alpha_{Ki}; A_i)$ lze přetransformovat na typ $(T_i; Z_i; A_i)$ použitím vztahu pro zákrut jako funkci $Z(T_k; \alpha_F)$, jmenovitě

$$Z_i = T_{ki}^{-1/2} \alpha_{Ki} \quad (2.148)$$

a na typ datového souboru $(T_i; \alpha_{Fi}; A_i)$ prostřednictvím převodního vztahu odvozeného rovněž z podmínky $Z_F = Z_K$, jmenovitě

$$\alpha_{Fi} = T_{ki}^{1/6} \alpha_{Ki} \quad (2.149)$$

Na základě výsledků provedené analýzy numerického řešení linearizované korelační regrese můžeme vyslovit následující závěry.

a) V závislosti na typu experimentálního souboru dat numerickým řešením linearizované korelační regrese a s použitím transformačních vztahů uvedených v kapitolách 1.7.1 a 1.7.2 je možné stanovit parametry dvanácti typů regresních funkcí pro řešenou geometrickou vlastnost příze, jmenovitě:

$$A(\alpha), A(T; Z), A(T; \alpha_F), A(T; \alpha_K), A[\alpha - \alpha_0(T)], A\{T; [Z - Z_0(T)]\},$$

- $A\{T;[\alpha_F - \alpha_{F0}(T)]\}$, $A\{T;[\alpha_K - \alpha_{K0}(T)]\}$, $A(\alpha - \alpha_0)$, $A[T;(Z - Z_0)]$,
 $A[T;(\alpha_F - \alpha_{F0})]$, $A[T;(\alpha_K - \alpha_{K0})]$.
- b) Regresní funkce typu $A(\alpha)$, $A(T; Z)$, $A(T; \alpha_F)$, $A(T; \alpha_K)$, $A[\alpha - \alpha_0(T)]$,
 $A\{T;[Z - Z_0(T)]\}$, $A\{T;[\alpha_F - \alpha_{F0}(T)]\}$ a $A\{T;[\alpha_K - \alpha_{K0}(T)]\}$ jsou uvnitř každé ze
 čtveřic navzájem transformovatelné, tudíž je dostačující stanovit jednu funkci, zbylé
 tři můžeme získat matematickou úpravou.
- c) Regresní funkce typu $A(\alpha - \alpha_0)$, $A[T;(Z - Z_0)]$, $A[T;(\alpha_F - \alpha_{F0})]$ a $A[T;(\alpha_K - \alpha_{K0})]$
 jsou navzájem netransformovatelné.
- d) Z hlediska vhodnosti tvaru regresní funkce pro aplikaci k predikci nebo projektování
 vlastností přízi můžeme stanovit následující pořadí:
 $A(T; Z)$, $A(T; \alpha_F)$, $A(T; \alpha_K)$, $A[T;(Z - Z_0)]$, $A[T;(\alpha_F - \alpha_{F0})]$, $A[T;(\alpha_K - \alpha_{K0})]$,
 $A\{T;[Z - Z_0(T)]\}$, $A\{T;[\alpha_F - \alpha_{F0}(T)]\}$, $A\{T;[\alpha_K - \alpha_{K0}(T)]\}$.
- e) Všechny vyjmenované typy datových souborů, jmenovitě $(T_i; Z_i; A_i)$, $(T_i; \alpha_{Fi}; A_i)$ a
 $(T_i; \alpha_{Ki}; A_i)$, jsou navzájem transformovatelné.

Z uvedených závěrů vyplývá, že pro stanovení optimální regresní funkce jako
 jediný možný se jeví následující postup numerického řešení linearizované korelační
 regrese. Podle typu datového souboru nejdříve je třeba řešit příslušnou alternativu Ba),
 Bb) nebo Bc), následně ve smyslu DB) pokračovat v příslušném transformovaném
 řešení Aa), Ab) nebo Ac) a nakonec provést řešení podle alternativ CBa), CBb) a CBc),
 při kterých je nutná transformace datového souboru podle příslušného odstavce E).
 Tímto postupem numerického řešení stanovíme parametry jedné regresní funkce
 z každého typu $A(\alpha)$ a $A(\alpha^*)$, dále parametry regresních funkcí $A(\alpha - \alpha_0)$,
 $A[T;(Z - Z_0)]$, $A[T;(\alpha_F - \alpha_{F0})]$, $A[T;(\alpha_K - \alpha_{K0})]$ a hodnoty regresních kritérií každé
 z uvedených funkcí. Na základě hodnot regresních kritérií a vhodnosti tvaru pro aplikaci
 ve smyslu pořadí podle odstavce d) můžeme vybrat nejlepší regresní funkci pro řešenou
 geometrickou vlastnost příze.

Při aplikaci numerického řešení linearizované korelační regrese je možné volit
 i jednodušší postup, při kterém pro všechna řešení geometrické vlastnosti příze se buď
 předem stanoví jednotný typ regresních funkcí, anebo pro každou geometrickou
 vlastnost příze se volí regresní funkce s nejlepšími hodnotami regresních kritérií bez
 ohledu na jejich typ. Posledně jmenovaný postup byl aplikován v předložené práci.

2.1.3.3 Aplikace nelineárního regresního modelu

Jak již bylo v práci uvedeno, v současné době k řešení regresních úloh je možné použít výpočetní programy, které jsou k dispozici na fakultní počítačové síti. Charakteru regresních funkcí geometrických vlastností příze odpovídá nelineární regresní model a výpočetní program Minopt. Tento program na vstupu kromě jiného vyžaduje zadání tvaru regresní funkce s následující symbolikou: vysvětlovaná proměnná y , vysvětlující proměnné $x_1, x_2, \dots, x_n$, parametry regresní funkce $p_1, p_2, \dots, p_n$.

Nyní pro alternativy řešení nelineární regrese v závislosti na typu regresní funkce obecné vlastnosti příze A a na typu datového souboru provedme stejnou analýzu jako u numerického řešení linearizované korelační regrese.

A) Z definičního vztahu (2.103) pro koeficient zákrutu s obecným exponentem kroucení vyplývá, že regresní funkci $A(\alpha)$ je ekvivalentní nelineární regresní funkce dvou vysvětlujících proměnných $y(x_1; x_2)$, která má tvar

$$y = p_1 (x_1^{p_2} x_2)^{p_3} \quad (2.150)$$

kde $y = A$, $x_1 = T_k$ a regresní parametry p_1 a p_2 mají stejný matematický i fyzikální význam pro všechny alternativy řešení v závislosti na typu datového souboru. Naproti tomu proměnná x_2 a regresní parametr p_2 v závislosti na datovém souboru typů $(T_i; Z_i; A_i)$, $(T_i; \alpha_{Fi}; A_i)$ nebo $(T_i; \alpha_{Ki}; A_i)$ nabývají významů

$$\text{Aa)} \quad x_2 = Z; \quad p_2 = q$$

$$\text{Ab)} \quad x_2 = \alpha_F; \quad p_2 = q - 2/3$$

$$\text{Ac)} \quad x_2 = \alpha_K; \quad p_2 = q - 1/2$$

B) Ze vztahů (2.133) a následného nečíslovaného vztahu vyplývá, že v symbolice nelineárního regresního modelu regresní funkci typu $A(\alpha^*)$ je ekvivalentní regresní funkce $y\{x_1 [x_2 - x_{20}(x_1)]\}$, pro kterou platí

$$y = p_1 [x_1^{p_2} (x_2 - p_3 x_1^{p_4})]^{p_5} \quad (2.151)$$

kde $y = A$, $x_1 = T_k$, $p_3 = K_Z$ a regresní parametry p_1 a p_5 mají stejný matematický i fyzikální význam pro všechny alternativy řešení v závislosti na typu

datového souboru. Pro proměnnou x_2 , výraz $p_3 x_1^{p_4}$ a regresní parametry p_2 a p_4 v závislosti na typu datového souboru alternativně platí

$$\text{Ba)} \quad x_2 = Z; \quad p_3 x_1^{p_4} = Z_0(T_k); \quad p_2 = q; \quad p_4 = z$$

$$\text{Bb)} \quad x_2 = \alpha_F; \quad p_3 x_1^{p_4} = \alpha_{F0}(T_k); \quad p_2 = q - 2/3; \quad p_4 = z + 2/3$$

$$\text{Bc)} \quad x_2 = \alpha_K; \quad p_3 x_1^{p_4} = \alpha_{K0}(T_k); \quad p_2 = q - 1/2; \quad p_4 = z + 1/2$$

CB) Jestliže v regresní funkci (2.151) položíme $p_4 = 0$, v symbolice nelineárního regresního modelu obdržíme nelineární regresní funkci $y\{x_1; [x_2 - x_{20}]\}$, která má tvar

$$y = p_1 [x_1^{p_2} (x_2 - p_3)]^{p_4} \quad (2.152)$$

kde $y = A$, $x_1 = T_k$ a regresní parametry p_1 a p_4 mají stejný matematický i fyzikální význam pro všechny alternativy řešení v závislosti na typu datového souboru.

Pro proměnnou x_2 a regresní parametry p_2 a p_3 v závislosti na typu datového souboru alternativně platí

$$\text{CBa)} \quad x_2 = Z; \quad p_3 = Z_0; \quad p_2 = q$$

$$\text{CBb)} \quad x_2 = \alpha_F; \quad p_3 = \alpha_{F0}; \quad p_2 = q - 2/3$$

$$\text{CBc)} \quad x_2 = \alpha_K; \quad p_3 = \alpha_{K0}; \quad p_2 = q - 1/2$$

2.1.3.4 Porovnání regresních modelů

Objektivnost numerického řešení linearizované korelační regrese verifikujeme nyní kontrolním řešením nelineární regrese s použitím výpočetního programu Minopt. K tomuto řešení byla zvolena regresní funkce složitějšího typu $A(\alpha^*)$ pro zaplnění μ vlněné příze česané s použitím datového souboru typu $(T_i; \alpha_{Fi}; \mu_i)$ obsaženého v Tab. 7a, 7b a 7c, tudíž řešení podle alternativy Bb) u obou regresních modelů. Datový soubor je dostatečně velký, obsahuje $n = 108$ trojic hodnot, nezávisle proměnné veličiny pochází z intervalů $T \in \langle 16; 50 \rangle$ tex a $\alpha_F \in \langle 35; 60 \rangle$ ktex^{2/3}m⁻¹. Řešená regresní funkce byla za použití vztahů (1.39), (1.65) a (1.66) přetransformována na funkci $\{T; [\alpha_F - \alpha_{F0}(T)]\}$, která je vhodnější pro aplikaci než funkce s jemností příze v kilotexech.

Výsledkem numerického řešení linearizované korelační regrese alternativy Bb) je regresní funkce, kritické hodnoty regrese a interval hodnot zaplnění $\langle \mu \rangle$ vypočítaný podle této funkce

$$\begin{aligned}\mu &= 0,16529 T^{-0,11845} (\alpha_F - 0,76034 T^{0,74697})^{0,38003} & (2.153) \\ R &= 0,99955 \quad (R^2 = 0,99910) \\ MEP &= 2,12388 \cdot 10^{-6} \\ R_a &= \langle -1,01; 0,48 \rangle \% \\ \mu &\in \langle 0,32997; 0,54185 \rangle\end{aligned}$$

Z alternativy Bb) řešení nelineární regrese podle výpočetního programu Minopt vzešla regresní funkce, její kritické hodnoty a interval hodnot $\langle \mu \rangle$

$$\begin{aligned}\mu &= 0,16649 T^{-0,11500} (\alpha_F - 0,79348 T^{0,74587})^{0,37593} & (2.154) \\ D^2 &= 99,91022 \% \\ MEP &= 2,36390 \cdot 10^{-6} \\ R_a &= \langle -1,02; 0,49 \rangle \% \\ \mu &\in \langle 0,32937; 0,54117 \rangle\end{aligned}$$

Ze srovnání stanovených regresních funkcí vyplývá, že jejich parametry po zaokrouhlení na dvě desetinná místa jsou shodné s výjimkou rozměrových konstant 0,76034 a 0,79348. Z kritických hodnot regrese na pět desetinných míst shodné jsou koeficienty determinace R^2 a regresní rabat $D^2/100$, zanedbatelné jsou rozdíly u střední kvadratické chyby predikce MEP a u relativní chyby regrese R_a . Rozdíly mezi mezními hodnotami intervalů $\langle \mu \rangle$ představují pouze desetiny procenta. Na základě uvedených skutečností můžeme konstatovat, že řešení regresních úloh podle linearizovaného korelačního regresního modelu a podle nelineárního regresního modelu s použitím výpočetního programu Minopt jsou v podstatě stejná.

2.2 Geometrický model vlněné česané příze

Geometrický stav příze, případně změny jejího geometrického stavu vlivem kroucení, popisujeme veličinami jako jsou intenzita zákrutu κ , průměr D , zaplnění μ , seskání δ , radiální stlačitelnost ε a intenzita zpevnění ψ , která vyplynula z exaktního modelu třecí pevnosti příze, popsaného v samostatné kapitole práce. Geometrický model vlněné česané příze definujeme jako množinu regresních funkcí vyjmenovaných veličin, které kvalifikují a kvantifikují její chování v procesu kroucení na prstencovém doprácím stroji.

2.2.1 Intenzita kroucení vlněné česané příze

Pro stanovení regresních parametrů p_1 , q a p_2 nelineární regresní funkce $\kappa(T_k; Z)$ podle (2.104) použijeme analytické řešení linearizované korelační regrese popsané v kap. 2.1.3.1. K tomuto účelu je třeba experimentálně stanovit souřadnice bodů funkcí $\kappa(T; Z)$. Ke stanovení těchto souřadnic jsem použil výsledky diplomové práce [18], ve které byla řešena problematika průměru vlněné česané příze v závislosti na jemnosti a intenzitě kroucení na bázi koeficientu zákrutu α_F ; na vedení této práce jsem se podílel v zastoupení po dobu dlouhodobé nemoci jejího oficiálního vedoucího.

K experimentálnímu měření průměru příze jako funkce $D(T; \alpha_F)$ byly použity vzorky vlněné česané příze, jejichž charakteristiky, jmenovitě výrobní jemnost T_v , výrobní zákrut Z_v , hustota vláken ρ a střední hodnoty průměru d , jemnosti t a počtu vláken n_0 , jakož i výrobce příze, jsou uvedeny v tabulce TAB. II.

Symbolem n_0 je označena veličina vypočítaná jako podíl T/t , pro orientační výpočet také jako podíl T_v/t . Podílem T/t je definován počet vláken n v nezakrouceném délkovém vlákenném útvaru, nebo zakrouceném za podmínek kroucení při konstantní délce. Protože česané příze se dopřádají na prstencových strojích za podmínek kroucení při konstantním napětí, podíl T/t vyjadřuje počet vláken n_0 ve fiktivní přízi o jemnosti T , vypředené z přírodní suroviny o střední jemnosti vláken t a s počtem zákrutů $Z = 0$. Standardní česané příze o stejné jemnosti ale s rozdílným počtem zákrutů podle účelu jejich použití se zpravidla vypřádají z přírodní suroviny o stejné střední jemnosti vláken. Z uvedeného vyplývá, že výše definovaná fiktivní příze představuje počátek příslušné izotexové řady přízí o jemnosti T , opatřených rozdílným počtem zákrutů podle příslušné zákrutové normy. Protože fiktivní příze je bezzákrutová, je možné ji interpretovat také jako vlákennou stužku o jemnosti T , přiváděnou průtažným ústrojím do zkrucovací zóny prstencového doprácího stroje, ze které udělením nulového počtu zákrutů vznikne příze o stejné jemnosti.

T_v [tex]	19	72	140	170
Z_v [m ⁻¹]	650	290	175	130
ρ [kg·m ⁻³]	1310			
d [μm]	22	26	28,5	31
t [dtex]	5	7	8,4	9,9
n_0 [1]	38	103	167	172
Výrobce	Kdyně, s.p., závod 4		Nejdek, s.p., závod 1	

Počet vzorků příze pro experimentální měření byl rozšířen o další čtyři, které vznikly laboratorním přikroucením vzorků původních. Výsledky diplomové práce jsou tabelovány pro interval jemností $T \in \langle 14; 90 \rangle$ tex a pro hodnoty koeficientu zákrutu α_F : 40; 45; 50 ktex^{2/3}m⁻¹. Definiční oblast prezentovaných empirických funkcí $D(T; \alpha_F)$ jsem pomocí algoritmu použitého v citované práci sladil s oborovou normou ON 80 2320 [6], platnou pro standardní vlněné česané příze, jmenovitě jsem rozšířil interval intenzity zákrutu na $\alpha_F \in \langle 35; 60 \rangle$ ktex^{2/3}m⁻¹ a interval jemnosti zúžil na $T \in \langle 16; 50 \rangle$ tex. Po provedení těchto úprav souřadnice bodů empirických funkcí $D(T; \alpha_F)$, rozšířené o souřadnice bodů funkcí v pořadí $\mu(T; D; \rho)$, $Z(T; \alpha_F)$ a $\kappa(T; Z)$, vypočítaných podle vztahů (1.10), (2.71) a (2.2) jsou uvedeny v tabulkách Tab. 7a, 7b a 7c v příloze práce.

Jestliže nyní zohledníme substituční vztahy (2.106) pro $A = \kappa$ a (2.108) a s použitím dat obsažených v uvedených tabulkách provedeme vyčíslení sumací (2.114) až (2.120), po zaokrouhlení na dvě desetinná místa obdržíme

$$\begin{aligned}
 \sum_{(i)} x_i y_i &= 348,46 q - 616,99 \\
 \sum_{(i)} x_i &= 664,70 - 374,31 q \\
 \sum_{(i)} x_i^2 &= 1309,74 q^2 - 4624,07 q + 4100,18 \\
 \left(\sum_{(i)} x_i \right)^2 &= 140105,74 q^2 - 497604,21 q + 441826,93 \\
 \sum_{(i)} y_i &= -100,79
 \end{aligned}$$

$$\sum_{(i)} y_i^2 = 96,19$$

$$\left(\sum_{(i)} y_i \right)^2 = 10158,36$$

$$n = 108$$

Dosadíme-li nyní za vyčíslené sumace do vztahů (2.111) až (2.113) a zohledníme substituce (2.107) a (2.109), po provedení matematické úpravy pro funkční závislosti $R(q)$, $p_1(q)$ a $p_2(q)$ obdržíme

$$R = \frac{0,64428 - 0,16670 q}{\sqrt{q^2 - 1,33333 q + 0,73716}} \quad (2.155)$$

$$p_1 = \exp \left(\frac{2,59110 q - 1,17199 q^2 - 2,32667}{q^2 - 1,33333 q + 0,73716} \right) \quad (2.156)$$

$$p_2 = \frac{0,26626 - 0,06889 q}{q^2 - 1,33333 q + 0,73716} \quad (2.157)$$

Derivováním funkce (2.155) obdržíme

$$\frac{dR}{dq} = \frac{0,30664 - 0,53315 q}{(q^2 - 1,33333 q + 0,73716)^{3/2}} \quad (2.158)$$

Z tvaru derivace (2.158) vyplývá, že derivovaná funkce (2.155) nabývá lokálního extrému a tudíž exponent kroucení optimální hodnoty, jestliže platí

$$0,30664 - 0,53315 q = 0 \quad (2.159)$$

Z řešení rovnice (2.159) vyplývá, že optimální exponent kroucení pro výhled geometricky podobných vlněných česaných přízí, který označíme symbolem q_0 , má hodnotu

$$q_0 = 0,57515$$

Jestliže nyní do vztahů (2.155) až (2.157) dosadíme optimální hodnotu exponentu kroucení q_0 a budeme aplikovat vztahy (2.126) a (2.127) pro výpočet střední kvadratické chyby predikce a mezních hodnot relativní chyby regrese, pro parametry a testační charakteristiky nelineární regresní funkce $\kappa(\alpha)$ obdržíme

$$p_1 = 1,71546 \cdot 10^{-2} \text{ ktex}^{-0,433} \text{ m}^{0,753}$$

$$R = 0,99942$$

$$q = 0,57515$$

$$MEP = 3,05912 \cdot 10^{-6}$$

$$p_2 = 0,75272$$

$$R_a \in \langle -1,37 ; 0,91 \rangle$$

Použijeme-li pro výpočet zákrutu jako funkci $Z(T; \alpha_F)$ vztah (2.71), pro okrajové podmínky kroucení, adekvátní ustanovením oborové normy ON 80 2320 [6], obdržíme

$$T_d = 16 \text{ tex}$$

$$T_h = 50 \text{ tex}$$

$$Z_d = 551,22 \text{ m}^{-1}$$

$$Z_h = 442,08 \text{ m}^{-1}$$

Dosazením okrajových podmínek do definičního vztahu (2.103) vypočítáme mezní hodnoty intervalu, ze kterého pocházejí hodnoty koeficientu zákrutu s optimálním exponentem kroucení pro standardní vlněné česané příze, jmenovitě

$$\alpha \in \langle 51,13 ; 78,96 \rangle \text{ ktex}^{0,575} \text{ m}^{-1}$$

Z analytického řešení linearizované korelační regrese tedy vyplynulo, že pro intenzitu zákrutu standardní vlněné česané příze platí nelineární regresní funkce

$$\kappa = 1,715 \cdot 10^{-2} \alpha^{0,753} \quad (2.160)$$

Dosazením mezních hodnot α do (2.160) vypočítáme mezní hodnotu intervalu intenzity zákrutu a úhlu stoupání šroubovicových ovinů fiktivního povrchového vlákna, jmenovitě

$$\kappa(\alpha) \in \langle 0,3318 ; 0,4603 \rangle$$

$$\beta_D [\kappa(\alpha)] \in \langle 18,36^\circ ; 24,72^\circ \rangle$$

V příloze práce pod označením Graf 6 jsou graficky zpracovány funkce $R(q)$, $p_1(q)$ a $p_2(q)$ pro exponenty kroucení z intervalu $q \in \langle 0;1 \rangle$. Vizuální představu o těsnosti proložení regresní funkce $\kappa(\alpha)$ je možné si vytvořit pomocí jejího zobrazení spolu s body vybraných empirických funkcí na Grafu 7 přílohy.

Z řešení vztahů (2.155) až (2.157) pro exponent kroucení $q = 2/3$ podle Phrixe a vztahů (2.126) a (2.127) pro standardní vlněnou česanou přízi vyplývají následující regresní parametry, testační charakteristiky, vlastní regresní funkce $\kappa(\alpha_F)$ a intervaly hodnot $\langle \kappa(\alpha_F) \rangle$ a $\langle \beta_D [\kappa(\alpha_F)] \rangle$.

$$p_1 = 2,17807 \cdot 10^{-2} \text{ ktex}^{-0,502} \text{ m}^{0,753}$$

$$q = 2/3$$

$$p_2 = 0,75272$$

$$R = 0,98546$$

$$MEP = 1,00629 \cdot 10^{-4}$$

$$R_a \in \langle -5,81; 3,85 \rangle \%$$

$$\kappa = 2,178 \cdot 10^{-2} \alpha_F^{0,753}$$

$$\kappa(\alpha_F) \in \langle 0,3168; 0,4753 \rangle$$

$$\beta_D[\kappa(\alpha_F)] \in \langle 17,58^\circ; 25,42^\circ \rangle$$

(2.161)

Regresní funkce (2.161) spolu s body vybraných empirických funkcí je zobrazena na Grafu 8 přílohy.

Analogické řešení jako v předchozím odstavci pro exponent kroucení $q = 1/2$ podle Koechlina a interval hodnot $\alpha_K \in \langle 69,72; 98,85 \rangle \text{ ktex}^{1/2} \text{ m}^{-1}$, který je adekvátní okrajovým podmínkám kroucení standardní vlněné česané příze, dává následující výsledky

$$p_1 = 1,60592 \cdot 10^{-2} \text{ ktex}^{-0,362} \text{ m}^{0,723}$$

$$q = 1/2$$

$$p_2 = 0,72330$$

$$R = 0,99083$$

$$MEP = 5,17613 \cdot 10^{-5}$$

$$R_a \in \langle -2,71; 5,32 \rangle \%$$

$$\kappa = 1,606 \cdot 10^{-2} \alpha_K^{0,723}$$

$$\kappa(\alpha_K) \in \langle 0,3455; 0,4447 \rangle$$

$$\beta_D[\kappa(\alpha_K)] \in \langle 19,06^\circ; 23,98^\circ \rangle$$

(2.162)

Regresní funkce (2.162) spolu s body vybraných empirických funkcí je zobrazena v příloze na Grafu 9.

Jestliže provedeme transformaci regresní funkce $\kappa(\alpha)$ podle vztahů (1.34) a (1.35), obdržíme funkci

$$\kappa = 8,622 \cdot 10^{-4} T^{0,433} Z^{0,753}$$

(2.163)

Transformace regresní funkce $\kappa(\alpha)$ aplikací vztahů (1.38) a (1.39) na funkci $\kappa(T; \alpha_F)$ vede na tvar

$$\kappa = 2,761 \cdot 10^{-2} T^{-0,069} \alpha_F^{0,753}$$

(2.164)

Na Grafu 10 přílohy je zobrazena množina standardních funkcí $\kappa(T; \alpha_F)$ pro všechny jemnosti podle rozšířené řady stanovené normou ČSN 80 0050 [24] z intervalu $T \in \langle 16; 50 \rangle \text{ tex}$ a pro koeficient zákrutu z intervalu $\alpha_F \in \langle 35; 60 \rangle \text{ ktex}^{2/3} \text{ m}^{-1}$. Z grafu

jsou zřejmé dvě různé délky intervalů hodnot κ , charakteristické pro funkce tří proměnných, které pro obecnou vlastnost A přize můžeme definovat následovně.

Uzavřený interval $\langle A \rangle$ definujeme jako množinu hodnot A , kterých nabývají přize nejméně dvou, zpravidla extrémních jemností. Uzavřený zúžený interval $\langle\langle A \rangle\rangle$ definujeme jako množinu hodnot A , kterých nabývají přize všech jemností z intervalu $\langle T \rangle$.

Jestliže nyní do závislosti (2.164) dosadíme kombinaci mezních hodnot z intervalů $\langle T \rangle$ a $\langle \alpha_F \rangle$, pro výše definované intervaly intenzity zákrutu obdržíme

$$\kappa(T; \alpha_F) \in \begin{aligned} &\langle 0,3066; 0,4977 \rangle \\ &\langle\langle 0,3316; 0,4600 \rangle\rangle \end{aligned}$$

Analogickým postupem aplikací transformačních vztahů (1.41) a (1.42) pro funkci $\kappa(T; \alpha_K)$ a intervaly intenzity zákrutu $\langle \alpha_K \rangle$ obdržíme

$$\kappa = 1,159 \cdot 10^{-2} T^{0,057} \alpha_K^{0,753} \quad (2.165)$$

$$\kappa(T; \alpha_K) \in \begin{aligned} &\langle 0,3317; 0,4604 \rangle \\ &\langle\langle 0,3540; 0,4315 \rangle\rangle \end{aligned}$$

Nyní definujeme poměrnou chybu $\delta \kappa(\alpha_F)$, které se dopouštíme při aplikaci regresní funkce $\kappa(\alpha_F)$, vztahem

$$\delta \kappa(\alpha_F) = \frac{\kappa(\alpha_F)}{\kappa(T; \alpha_F)} - 1 \quad (2.166)$$

Jestliže za $\kappa(\alpha_F)$ a $\kappa(T; \alpha_F)$ dosadíme pravé strany výrazů (2.161) a (2.164), po matematické úpravě obdržíme poměrnou chybu $\delta \kappa(\alpha_F)$ jako funkci pouze jemnosti přize ve tvaru

$$\delta \kappa(\alpha_F) = 0,789 T^{0,069} - 1 \quad (2.167)$$

Po dosazení mezních hodnot z intervalu jemnosti vypočítáme, že poměrné chyby $\delta\kappa(\alpha_F)$ pocházejí z intervalu

$$\delta\kappa(\alpha_F) \in \langle -4,47; 3,35 \rangle \%$$

Řešením vztahu (2.167) stanovíme, že jemnost příze s označením T' , při které poměrná chyba $\delta\kappa(\alpha_F) = 0$, má hodnotu

$$T' = 31,02 \text{ tex}$$

Tato hodnota je velmi blízká hodnotě geometrického průměru jemnosti z intervalu $T \in \langle 16; 50 \rangle \text{ tex}$.

Analogickým postupem, ale s použitím regresní funkce (2.162) a transformované funkce (2.165), pro poměrnou chybu $\delta\kappa(\alpha_K)$ obdržíme výsledky

$$\delta\kappa(\alpha_K) = 1,386 T^{-0,057} \alpha_K^{-0,030} - 1 \quad (2.168)$$

$$\delta\kappa(\alpha_K) \in \langle -3,38; 4,19 \rangle \%$$

$$T' = 306,955 \alpha_K^{-0,526} \quad (2.169)$$

Jestliže nyní do transformačního vztahu (1.46) za geometrický průměr jemnosti z intervalu $T \in \langle 16; 50 \rangle \text{ tex}$ dosadíme hodnotu $\overset{o}{T} = 31,2478 \text{ tex}$ a hodnotu exponentu kroucení pro vlněnou česanou přízi $q = 0,57515$, pro modifikovaný koeficient zákrutu $\hat{\alpha}_F$ obdržíme závislost

$$\hat{\alpha}_F = 1,370 T^{-0,092} \alpha_F \quad (2.170)$$

Po dosazení hodnot T a α_F adekvátních okrajovým podmínkám kroucení vlněných česaných přízí stanovíme, že modifikovaný koeficient zákrutu podle Phrixe nabývá hodnot z intervalu

$$\hat{\alpha}_F \in \langle 37,15; 57,35 \rangle \text{ ktex}^{0,575} \text{ m}^{-1}$$

Aplikací transformačních vztahů (1.47) pro zákrut jako funkci $Z(T; \hat{\alpha}_F)$ a intenzitu zákrutu jako funkci $\kappa(\hat{\alpha}_F)$ obdržíme závislosti

$$Z = 72,979 T^{-0,575} \hat{\alpha}_F \quad (2.171)$$

$$\kappa = 2,178 \cdot 10^{-2} \hat{\alpha}_F^{0,753} \quad (2.172)$$

Dosazením mezních hodnot intervalu $\langle \hat{\alpha}_F \rangle$ vypočítáme mezní hodnoty intervalu $\langle \kappa(\hat{\alpha}_F) \rangle$, jmenovitě

$$\kappa(\hat{\alpha}_F) \in \langle 0,3313 ; 0,4594 \rangle$$

Stejným postupem, ale s použitím transformačních vztahů (1.50) až (1.53), obdržíme analogické vztahy a intervaly pro modifikovaný koeficient zákrutu $\hat{\alpha}_K$ podle Koechlina

$$\hat{\alpha}_K = 0,772 T^{0,075} \alpha_K \quad (2.173)$$

$$\hat{\alpha}_K \in \langle 66,26 ; 102,33 \rangle \text{ ktex}^{0,575} \text{ m}^{-1}$$

$$Z = 40,958 T^{-0,575} \hat{\alpha}_K \quad (2.174)$$

$$\kappa = 1,410 \cdot 10^{-2} \hat{\alpha}_K^{0,753} \quad (2.175)$$

$$\kappa(\hat{\alpha}_K) \in \langle 0,3316 ; 0,4600 \rangle$$

Na závěr provedené analýzy intenzity kroucení vlněné česané příze můžeme shrnout nejdůležitější poznatky.

Z číselného i grafického zpracování výsledků analytického řešení linearizované korelační regrese je zřejmá vysoká intenzita statistické závislosti proměnných κ a α s exponentem kroucení $q = 0,57515$, kterou na základě velmi malé odchylky koeficientu korelace R od jedničky lze považovat za závislost funkční. Podle velmi malé hodnoty střední kvadratické chyby predikce MEP můžeme také konstatovat velmi vysokou predikční schopnost regresní funkce $\kappa(\alpha)$. Lze tedy konstatovat, že vlněné česané příze předené s intenzitou kroucení na bázi koeficientu zákrutu α s exponentem kroucení $q = 0,57515$ jsou geometricky podobné. Teoreticky nevysvětlenou zvláštností zůstává skutečnost, že optimální hodnota exponentu kroucení $q = 0,57515$ je velmi blízká geometrickému průměru hodnot exponentů kroucení podle Koechlina a podle Phrixe o číselné hodnotě 0,57735.

Z číselného i grafického zpracování regresí pro exponenty kroucení $q = 2/3$ a $q = 1/2$ vyplývá, že predikční schopnost regresních funkcí $\kappa(\alpha_F)$ a $\kappa(\alpha_K)$, těsnost jejich proložení experimentálními body i relativní chyby obou regresí nejsou na přijatelné statistické úrovni a tudíž můžeme konstatovat, že vlněné česané příze

předané s intenzitou kroucení na bázi koeficientu zákrutu α_F podle Phrixe ani na bázi koeficientu zákrutu α_K podle Koechlina nelze deklarovat za geometricky podobné. Na jiném místě práce bude prokázáno, že poměrné chyby ve stanovení normalizovaných zákrutů jako funkcí $Z_F(\alpha_F)$ i $Z_K(\alpha_K)$ jsou na významně vyšší hladině než poměrné chyby $\delta\kappa(\alpha_F)$ a $\delta\kappa(\alpha_K)$ uvedené v této kapitole.

Z provedené analýzy rovněž vyplynulo, že pro výhled geometricky podobných vlněných česaných přízí lze také aplikovat modifikované koeficienty zákrutu $\hat{\alpha}_F$ a $\hat{\alpha}_K$, jmenovitě vztahy (2.171) a (2.174) pro výpočet zákrutů jako funkci $Z(T; \hat{\alpha}_F)$ a $Z(T; \hat{\alpha}_K)$ a vztahy (2.170) a (2.173) pro výpočet mezních hodnot intervalů $\langle \hat{\alpha}_F \rangle$ a $\langle \hat{\alpha}_K \rangle$, případně hodnot $\hat{\alpha}_F$ a $\hat{\alpha}_K$ adekvátních normalizovaným řadám zákrutů podle oborové normy ON 80 2320 [6]. Výhodnost aplikace těchto koeficientů tkví pouze v tom, že jejich hodnoty jsou řádově stejné a číselně blízké hodnotám koeficientů α_F a α_K .

Analytické řešení linearizované korelační regrese bylo použito pouze v této kapitole jako demonstrace matematického postupu a průběhu funkcí $R(q)$, $p_1(q)$ a $p_2(q)$, případně má poukázat na výhodnost tohoto řešení pro některé specifické úlohy, u kterých jeden z regresních parametrů, v našem případě q , nabývá více hodnot.

V této i v dalších kapitolách výsledky řešení regresních úloh, vyjma poměrné chyby regrese, uvádím na pět desetinných míst, aby byla zachována možnost úpravy příslušných vztahů pro velmi přesné výpočty, zejména k teoretickým účelům. Ve všech regresních, transformovaných i odvozených funkcích u konstant s pevnou i pohyblivou desetinnou čárkou a u exponentů používám tři desetinná místa. Tento počet desetinných míst skýtá dostatečnou přesnost výsledků pro teorii i textilní praxi s poměrnou odchylkou od velmi přesných výpočtů vždy a často významně menší než jedno procento.

2.2.2 Průměr vlněné česané příze

V úvodu kapitoly je nutné konstatovat, že na rozdíl od dosavadní teoretické i textilní praxe, kdy se používají pouze dva koeficienty zákrutu s rozdílnými symboly i hodnotami exponentu kroucení, jmenovitě buď α_F nebo α_K , pro předloženou práci považuji za výhodné používat jediný koeficient se symbolem α , definovaný jako násobek q -té mocniny jemnosti v kilotexech a zákrutu v jednotkách m^{-1} . Rozlišovacím znakem takto pojatého koeficientu zákrutu pro příslušné veličiny charakterizující geometrické vlastnosti příze jsou rozdílné hodnoty exponentu kroucení q a z toho vyplývající rozdílný rozměr α [$\text{ktex}^q m^{-1}$].

Průměr příze můžeme vyjádřit z definičního vztahu pro intenzitu zákrutu (1.20) jako funkci $D(\kappa; Z)$ vztahem

$$D = \frac{\kappa}{\pi Z} \quad (2.176)$$

Protože κ je veličina bezrozměrná a hlavní jednotkou zákrutu je m^{-1} , průměr příze podle (2.176) je D [m]. Jestliže nyní funkci (2.163) přetransformujeme na funkci $\kappa(T_k; Z)$, po jejím dosazení do (2.176) a následné úpravě součinu proměnných na společného mocnitele obdržíme následující parametry regresní funkce $D(\alpha)$.

$$\begin{aligned} p_1 &= 5,46048 \cdot 10^{-3} \text{ ktex}^{-0,433} \text{ m}^{0,753} \\ q &= -1,75077 \\ p_2 &= -0,24728 \end{aligned}$$

Na základě zkušenosti, že pro textilní praxi je vhodnější vztah pro výpočet průměru příze v milimetrech, pro který platí převod $D [\text{mm}] = 10^3 D [\text{m}]$, regresní funkci $D(\alpha)$ pro vlněnou česanou přízi upravme na tvar

$$D = 5,460 \alpha^{-0,247} [\text{mm}] \quad (2.177)$$

Pro koeficient zákrutu α s exponentem kroucení $q = -1,75077$ z podmínky rovnosti zákrutu odvodíme převodní vztah

$$\alpha = 1,78780 \cdot 10^7 T^{-2,41744} \alpha_F \quad (2.178)$$

Pro objasnění vlivu záporného znaménka exponentů ve funkcích (2.177) i (2.178) na kvantitativní stránku průměru příze a koeficientu zákrutu vymežeme intervaly hodnot, kterých tyto veličiny nabývají u přízí mezních standardních jemností předených s intenzitou kroucení na bázi α_F z intervalu $\langle 35; 60 \rangle \text{ ktex}^{2/3} \text{ m}^{-1}$; aplikací vztahů v pořadí (2.178) a následně (2.177) obdržíme

$$\begin{aligned} \text{pro } T = 16 \text{ tex:} \quad & \alpha \in \langle 7,6825 \cdot 10^5; 1,3170 \cdot 10^6 \rangle \text{ ktex}^{-1,751} \text{ m}^{-1} \\ & D \in \langle 0,1921; 0,1681 \rangle \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{pro } T = 50 \text{ tex:} \quad & \alpha \in \langle 4,8891 \cdot 10^4; 8,3813 \cdot 10^4 \rangle \text{ ktex}^{-1,751} \text{ m}^{-1} \\ & D \in \langle 0,3793; 0,3320 \rangle \text{ mm} \end{aligned}$$

Z provedené analýzy vyplývá, že jak u průměru, tak také u koeficientu zákrutu nedochází k průniku intervalů hodnot, kterých nabývají příze mezních jemností; na základě tohoto zjištění můžeme konstatovat, že neexistuje hodnota α , platná pro všechny jemnosti, ani hodnota průměru D , kterou nabývají příze všech jemností, tudíž že zúžené intervaly těchto veličin jsou prázdné. Z těchto důvodů regresní funkce $D(\alpha)$ podle (2.177) není vhodná pro praktickou aplikaci, má pouze teoretické opodstatnění. Na základě uvedených skutečností můžeme konstatovat, že koeficient zákrutu α s optimální hodnotou exponentu kroucení pro průměr standardních vlněných česaných přízí a průměr D těchto přízí nabývají hodnoty z intervalu

$$\langle 4,8891 \cdot 10^4 ; 1,3170 \cdot 10^6 \rangle \text{ ktex}^{-1,751} \text{ m}^{-1}$$

$\alpha \in$

$$\langle \langle 0 \rangle \rangle$$

$$\langle 0,1681 ; 0,3793 \rangle \text{ mm}$$

$D \in$

$$\langle \langle 0 \rangle \rangle$$

Analogickým postupem jako v předchozí kapitole, čili transformací regresní funkce $D(\alpha)$ podle příslušných vztahů, odvodíme vztahy pro průměr jako funkci $D(T; Z)$, $D(T; \alpha_F)$ a $D(T; \alpha_K)$ a vypočítáme intervaly hodnot pro standardní vlněné česané příze.

$$D = 0,274 T^{0,433} Z^{-0,247} \text{ [mm]} \quad (2.179)$$

$$D = 8,788 \cdot 10^{-2} T^{0,598} \alpha_F^{-0,247} \text{ [mm]} \quad (2.180)$$

$$\langle 0,1678 ; 0,3789 \rangle \text{ mm}$$

$D(T; \alpha_F) \in$

$$\langle \langle 0 \rangle \rangle$$

$$D = 0,117 T^{0,557} \alpha_K^{-0,247} \text{ [mm]} \quad (2.181)$$

$$\langle 0,1762 ; 0,3624 \rangle \text{ mm}$$

$D(T; \alpha_K) \in$

$$\langle \langle 0 \rangle \rangle$$

Regresní funkce $D(\alpha)$ podle (2.177) spolu s body vybraných empirických funkcí je v souřadnicích $(\log \alpha; D)$ zobrazena na Grafu 11 a funkce $D(T; \alpha_F)$ na Grafu 12 přílohy práce. Z Grafu 11 je zřejmá vysoká těsnost proložení regresní funkce vybranými empirickými body a současně graficky jsou potvrzeny závěry o existenci prázdného zúženého intervalu hodnot standardních vlněných česaných přízí. Graf 12 může sloužit jako nomogram pro odečet průměru v závislosti na jemnosti příze a intenzitě kroucení na bázi α_F . Pro snazší orientaci jsou zvýrazněny funkce příslušné přízím o jemnosti rovné desítkám texů.

2.2.3 Zaplnění vlněné česané příze

Při stanovení regresní funkce zaplnění jsem použil numerické řešení linearizované korelační regrese podle vlastního výpočetního programu a v prvním přiblížení jsem vycházel z předpokladu, že pro zaplnění je optimální regresní funkce typu $\mu(\alpha)$ s upraveným datovým souborem typu $(T_i; \alpha_{Fi}; \mu_i)$ obsaženým v tabulkách Tab.7a až Tab.7c a linearizovanou proměnnou x podle (2.130), čili řešení podle alternativy Ab), popsané v kap. 2.1.3.2 práce. Výsledkem numerického řešení na PC počítačích jsou následující parametry regresní funkce, testační modelové charakteristiky a vlastní regresní funkce.

$$p_1 = 3,26216 \cdot 10^{-2} \text{ ktex}^{-0,134} \text{ m}^{0,494}$$

$$q = 0,27050$$

$$p_2 = 0,49419$$

$$R = 0,99701$$

$$MEP = 1,49998 \cdot 10^{-5}$$

$$R_a \in \langle -1,76; 2,79 \rangle \%$$

$$n = 108$$

$$\mu = 3,262 \cdot 10^{-2} \alpha^{0,494} \quad (2.182)$$

Analogickým řešením jako v kap. 2.2.1, čili aplikací okrajových podmínek kroucení, pro intervaly hodnot koeficientu zákrutu s exponentem kroucení $q = 0,27050$ a následně pro zaplnění standardní vlněné česané příze obdržíme

$$\alpha \in \langle 180,11; 196,60 \rangle \text{ ktex}^{0,271} \text{ m}^{-1}$$

$$\mu(\alpha) \in \langle 0,4248; 0,4436 \rangle$$

Regresní funkce (2.182) spolu s body vybraných empirických funkcí je zobrazena na Grafu 13 přílohy práce. Z grafu je zřejmé, že regresní funkce a empirická funkce

jako myšlená čára proložená zobrazenými body vykazují na obou koncích natolik rozdílné trendy, že i přes přijatelné hodnoty testačních modelových charakteristik, regresní funkci $\mu(\alpha)$ podle (2.182) nepovažuji za optimální.

Z výše uvedených důvodů jsem provedl opakované numerické řešení této regresní úlohy podle alternativy Bb), čili empirickou funkci zaplnění vlněné česané příze jsem aproximoval typem $\mu(\alpha^*)$ regresní funkce. Výsledkem numerického řešení na PC počítači jsou následující regresní parametry, testační charakteristiky a transformovaná regresní funkce $\mu(T; \alpha)$.

$$\begin{aligned} p_1 &= 7,29244 \cdot 10^{-2} \text{ ktex}^{-0,135} \text{ m}^{0,380} & R &= 0,99955 \\ q &= 0,35498 & MEP &= 2,12388 \cdot 10^{-6} \\ K_z &= 132,41000 \text{ ktex}^{-0,380} \text{ m}^{-1} & R_a &\in \langle -1,01; 0,48 \rangle \% \\ z &= 0,08031 & n &= 108 \\ p_2 &= 0,38003 \end{aligned}$$

$$\mu = 7,292 \cdot 10^{-2} (\alpha - 6,547 T^{0,435})^{0,380} \quad (2.183)$$

V předchozích kapitolách již popsaným postupem vypočítáme mezní hodnoty intervalů hodnot, kterých nabývají koeficient zákrutu a zaplnění standardní vlněné česané příze, jmenovitě

$$\alpha \in \langle 127,00; 152,63 \rangle \text{ ktex}^{0,355} \text{ m}^{-1}$$

$$\begin{aligned} &\langle 0,4050; 0,4646 \rangle \\ \mu(T; \alpha) &\in \\ &\langle \langle 0,4277; 0,4450 \rangle \rangle \end{aligned}$$

Transformací regresní funkce $\mu(\alpha^*)$ podle příslušných vztahů obdržíme vztahy pro zaplnění jako funkce $\mu(T; Z^*)$, $\mu(T; \alpha_F^*)$ a $\mu(T; \alpha_K^*)$ a vypočítáme intervaly hodnot zaplnění, kterých nabývají standardní vlněné česané příze.

$$\mu = 2,872 \cdot 10^{-2} T^{0,135} (Z - 76,033 T^{0,080})^{0,380} \quad (2.184)$$

$$\mu = 0,165 T^{-0,118} (\alpha_F - 0,760 T^{0,747})^{0,380} \quad (2.185)$$

$$\begin{aligned} &\langle 0,3300 ; 0,5415 \rangle \\ \mu(T; \alpha_F) \in & \\ &\langle \langle 0,4275 ; 0,4451 \rangle \rangle \end{aligned}$$

$$\mu = 0,107 T^{-0,055} (\alpha_K - 2,404 T^{0,580})^{0,380} \quad (2.186)$$

$$\begin{aligned} &\langle 0,3711 ; 0,5011 \rangle \\ \mu(T; \alpha_K) \in & \\ &\langle \langle 0,4290 ; 0,4465 \rangle \rangle \end{aligned}$$

Regresní funkce $\mu(\alpha^*)$, jak je zřejmé z jejího tvaru podle (2.183), je vlastně množinou funkcí $\mu(T_i; \alpha)_i$ pro $T_i = \text{konst.}$, jejichž těsnost v definovaném intervalu $\langle \alpha \rangle$ posuzujeme hodnotami testačních modelových charakteristik. I přes skutečnosti uvedené výše kvalitativní stránku provedené regrese lze vizuálně posoudit grafickým zpracováním s využitím korelační přímky podle Grafu 14. U této metody body vybraných empirických funkcí se zobrazují v souřadnicích $[\mu_i(T; \alpha_F); \mu(T; \alpha_F)]$, přičemž μ_i je hodnota vypočítána podle vztahu (2.185), μ její párová empirická hodnota a pro korelační přímku platí $\mu = \mu_i$. Kvalitu regrese při tomto zobrazení můžeme vizuálně posuzovat na základě velikosti rozptylu zobrazených bodů kolem korelační přímky a podle trendu, který zobrazené body vytváří vzhledem ke korelační přímce. Z relativní polohy zobrazeného bodu vzhledem ke korelační přímce lze také určit polaritu jeho poměrné chyby regrese R_{ai} , definované vztahem (2.127): jestliže zobrazený bod leží nad, na, nebo pod korelační přímku, potom pro hodnoty zaplnění a bodové poměrné chyby regrese platí $\mu_{ii} < \mu_i$, $\mu_{ii} = \mu_i$, $\mu_{ii} > \mu_i$ a $R_{ai} < 0$, $R_{ai} = 0$, $R_{ai} > 0$. Z uvedeného tedy vyplývá, že u tohoto grafického zpracování výsledků regrese korelační přímka supluje regresní funkci.

Na základě vypočítaných hodnot testačních modelových charakteristik i na základě vizuálního posouzení grafického zpracování výsledků regrese můžeme jednoznačně konstatovat, že pro zaplnění vlněné česané příze je optimální regresní funkce typu $\mu(\alpha^*)$.

Na Grafu 15 je zobrazena závislost (2.185); tento graf může také sloužit jako nomogram k odečtu hodnot zaplnění standardních vlněných česaných přízí v závislosti na jemnosti a intenzitě kroucení na bázi α_F .

2.2.4 Seskání vlněné česané příze

Pro seskání jako kladně pojaté poměrné zkrácení délkového vláknenného útvaru vlivem zakroucení Neckář [1] uvádí vztah odvozený z ideálního šroubovicového modelu

$$\delta = \operatorname{tg}^2 \frac{\beta_D}{2} \quad (2.187)$$

kde β_D je úhel stoupání šroubovicových ovinů fiktivního povrchového vlákna o nulovém průměru. Protože průměr povrchového vlákna má nezanedbatelný vliv na velikost úhlu stoupání jeho ovinů a tudíž také na seskání útvaru, provedme korekci vztahu (2.187).

Osa reálného povrchového vlákna o průměru d vytváří v zakrucovaném útvaru šroubovicové oviny o průměru $D - d$ a úhlu stoupání, který označíme symbolem β_d . Potom pro tangentu úhlu β_d v analogii s obrázkem Obr.1 můžeme psát

$$\operatorname{tg} \beta_d = \pi (D - d) Z \quad (2.188)$$

Pro tangentu úhlu stoupání šroubovicových ovinů fiktivního povrchového vlákna v kap. 2.1 byl použit literárně zavedený symbol κ a název intenzita zákrutu; z důvodu významové identity κ a $\operatorname{tg} \beta_D$ vztah (2.2) můžeme psát ve tvaru

$$\operatorname{tg} \beta_D = \pi D Z \quad (2.189)$$

Z podmínky stejného zákrutu ze vztahů (2.188) a (2.189) pro $\operatorname{tg} \beta_d$ obdržíme

$$\operatorname{tg} \beta_d = \frac{D - d}{D} \operatorname{tg} \beta_D \quad (2.190)$$

Schwarz [29] již v roce 1933 se zabýval relací mezi úhlem stoupání šroubovicových ovinů fiktivního a reálného vlákna na povrchu krouceného útvaru; podíl průměrů $(D - d)/D$ pro danou přízi považuje za konstantu se symbolem k , pro kterou se v textilní teorii doposud používá název Schwarzova konstanta, tudíž

$$k = \frac{D-d}{D} \quad (2.191)$$

Jestliže opět zohledníme významovou identitu $\operatorname{tg} \beta_D$ a κ a vztahy (2.190) a (2.191), pro tangentu úhlu stoupání ovinů reálného povrchového vlákna a korigovaný vztah pro seskání můžeme psát

$$\operatorname{tg} \beta_d = k \kappa \quad (2.192)$$

$$\delta = \operatorname{tg}^2 \frac{\operatorname{arctg}(k \kappa)}{2} \quad (2.193)$$

Schwarz po zavedení zjednodušujících předpokladů pro podíl $(D-d)/D$ odvodil přibližné řešení, podle kterého tento podíl je buď funkcí jemnosti příze a vláken, anebo funkcí počtu vláken n_0 ve fiktivní přízi, podle vztahu

$$k = 1 - \sqrt{\frac{t}{T}} = 1 - \sqrt{\frac{1}{n_0}} \quad (2.194)$$

Ze vztahu (2.194) je zřejmé, že Schwarzova konstanta je nezávislá na intenzitě kroucení, ale je konstantou pouze pro příze stejné jemnosti, vypředené z vláken stejné jemnosti, tudíž pro standardní česané příze ze stejné izotexové řady.

Zavedme nyní předpoklad, že manipulování merinových a nejjemnějších kříženeckých vln pro výpřed vlněných česaných přízí se provádí tak, že počet vláken n_0 ve fiktivní přízi v závislosti na její jemnosti roste lineárně. Jestliže ve smyslu uvedeného a s použitím párových hodnot n_0 a T obsažených v tabulce TAB.II provedeme výpočet parametrů a testačních modelových charakteristik lineární regresní funkce, pro počet vláken n_0 obdržíme

$$n_0 = 0,916 T + 27,957 \quad (2.195)$$

$$R = 0,98163$$

$$R_a(k) \in \langle -0,59; 2,03 \rangle \%$$

Interval poměrných chyb regrese jako funkce $R_a(k)$ je množina chyb, kterých nabývá Schwarzova konstanta. Vzhledem k tomu, že jak funkce $k(n_0)$ podle (2.194), tak také linearita počtu vláken n_0 ve fiktivní přízi v závislosti na její jemnosti jsou řešení přibližná, statistickou úroveň regresní funkce $n_0(T)$ podle (2.195) považují za dostačující.

Jestliže nyní za n_0 dosadíme do (2.194) a následně za k do (2.192) a (2.193), pro tangentu úhlu stoupání šroubovicových ovinů reálného povrchového vlákna a seskání vlněné česané příze obdržíme vztahy

$$tg\beta_d = \left(1 - \sqrt{\frac{1}{0,916T + 27,957}}\right) \kappa \quad (2.196)$$

$$\delta = tg^2 \frac{\arctg \left[\left(1 - \sqrt{\frac{1}{0,916T + 27,957}}\right) \kappa \right]}{2} \quad (2.197)$$

Použitím souřadnic bodů empirických funkcí $\kappa(T; \alpha_F)$ obsažených v Tab.7a až 7c a vztahu (2.197) byly vypočítány souřadnice bodů empirických funkcí seskání $\delta(T; \alpha_F)$ a jako takové jsou tabelovány v Tab.8 přílohy.

Pro stanovení regresní funkce seskání jsem použil numerické řešení linearizované korelační regrese podle alternativy Ab), u které regresní funkce je typu $\delta(\alpha)$ a datový soubor upraven na typ $(T_i; \alpha_{Fi}; \delta_i)$. Výsledkem numerického řešení na PC počítači jsou následující parametry regresní funkce, testační modelové charakteristiky a regresní funkce, jakož i následným výpočtem stanovené intervaly hodnot koeficientu zákrutu a seskání pro standardní vlněné česané příze.

$$p_1 = 9,35432 \cdot 10^{-5} \text{ ktex}^{-0,892} \text{ m}^{1,425}$$

$$q = 0,62565$$

$$p_2 = 1,42547$$

$$R = 0,99948$$

$$MEP = 6,14854 \cdot 10^{-8}$$

$$R_a \in \langle -2,44 ; 1,89 \rangle \%$$

$$n = 108$$

$$\delta = 9,354 \cdot 10^{-5} \alpha^{1,425}$$

$$\alpha \in \langle 41,41 ; 67,77 \rangle \text{ ktex}^{0,626} \text{ m}^{-1}$$

$$\delta(\alpha) \in \langle 1,89 \cdot 10^{-2} ; 3,80 \cdot 10^{-2} \rangle$$

(2.198)

Transformací regresní funkce (2.198) podle příslušných vztahů uvedených v kap. 1.7.1 pro seskání jako funkci $\delta(T; Z)$, $\delta(T; \alpha_F)$ a $\delta(T; \alpha_K)$ obdržíme následující vztahy a intervaly hodnot seskání, kterých nabývají standardní česané příze.

$$\delta = 1,975 \cdot 10^{-7} T^{0,892} Z^{1,425}$$

(2.199)

$$\delta = 1,401 \cdot 10^{-4} T^{-0,058} \alpha_F^{1,425} \quad (2.200)$$

$$\begin{aligned} & \langle 1,77 \cdot 10^{-2} ; 4,08 \cdot 10^{-2} \rangle \\ \delta(T; \alpha_F) \in & \langle \langle 1,89 \cdot 10^{-2} ; 3,82 \cdot 10^{-2} \rangle \rangle \end{aligned}$$

$$\delta = 2,714 \cdot 10^{-5} T^{0,179} \alpha_K^{1,425} \quad (2.201)$$

$$\begin{aligned} & \langle 1,89 \cdot 10^{-2} ; 3,81 \cdot 10^{-2} \rangle \\ \delta(T; \alpha_K) \in & \langle \langle 2,31 \cdot 10^{-2} ; 3,10 \cdot 10^{-2} \rangle \rangle \end{aligned}$$

Regresní funkce $\delta(\alpha)$ podle (2.198) spolu s body vybraných empirických funkcí je zobrazena na Grafu 16 přílohy práce. Z hodnot testačních charakteristik R a MEP je patrná vysoká těsnost proložení i předikční schopnost regresní funkce, grafické zpracování i mezní hodnoty intervalu $\langle R_a \rangle$ svědčí o relativně větších poměrných chybách regrese. V matematickém modelu geometrického i fyzikálního chování krouceného vláknenného útvaru podstatně čteněji než samostatně se seskání vyskytuje v rozdílu $(1-\delta)$. Jestliže provedeme transformaci poměrné chyby regrese $R_a(\delta)$ na $R_a(1-\delta)$, vypočítáme, že transformované poměrné chyby provedené regrese pocházejí z intervalu $R_a(1-\delta) \in \langle -0,035 ; 0,109 \rangle \%$. Na základě uvedeného typ $\delta(\alpha)$ regresní funkce i její tvar (2.198) můžeme považovat za vyhovující pro zaměření této práce. Transformovaná funkce $\delta(T; \alpha_F)$ podle (2.200) je zobrazena na Grafu 17 přílohy práce. Z grafu je patrné, že může sloužit pouze k hrubému odečtu hodnot funkce $\delta(T; \alpha_F)$ pro standardní vlněné česané příze.

2.2.5 Radiální stlačitelnost vlněné česané příze

Radiální stlačitelnost ε je kladně pojatá poměrná radiální deformace délkového vláknenného útvaru vlivem zakrucování, vyjádřená definičním vztahem (1.29) ve tvaru

$$\varepsilon = \frac{D_p - D}{D_p}$$

kde D_p je průměr délkového vláknenného útvaru před jeho zakroucením; u útvarů nekruhového průřezu D_p je jeho ekvivalentní průměr, tj. průměr stejnoploché kružnice;

D je průměr délkového vláknenného útvaru po udělení Z zákrutů.

Na tomto místě považují za potřebné se zmínit o skutečnosti, že česané příze se dopřádají výhradně na prstencových dopřádacích strojích. Na těchto strojích je realizován princip zakrucování s pevným koncem a při konstantním napětí v krouceném útvaru jako důsledku možnosti jeho seskání. Do zkrucovací zóny prstencového dopřádacího stroje se průtažným ústrojím přivádí vlákenná stužka nekruhového průřezu, která se ve vrcholu trojúhelníka kroucení přetváří v přízi přibližně kruhového průřezu, seskává se a dokrucuje po balónové dráze k běžci. V následujících odstavcích jsou popsány postupné kroky potřebné k provedení transformace definičního vztahu pro výpočet poměrné radiální stlačitelnosti na podmínky zakrucování prstencové příze.

- 1) Každou empirickou funkci $D(\alpha_F)$ příslušnou k prstencovým přízím o stejné jemnosti T , zakrouceným s rozdílnou intenzitou kroucení na bázi α_F , lze úspěšně aproximovat nelineární funkcí

$$D = D_0 \exp(p_2 \alpha_F) \quad (2.202)$$

kde D_0 je průměr fiktivní prstencové příze o jemnosti T , se zaplněním μ_0 , zakroucené s intenzitou kroucení $\alpha_F = 0$, tudíž se zákrutem $Z = 0$. Protože se jedná o bezzákrutovou přízi prstencovou, D_0 můžeme také interpretovat jako ekvivalentní průměr vlákenné stužky o jemnosti T a se zaplněním μ_0 , přivedenou průtažným ústrojím do prstencového dopřádacího stroje.

- 2) Empirickou funkci $D_0(T)$ danou body o souřadnicích $(T_i; D_{oi})$, stanovenými regresemi ad 1, lze také úspěšně aproximovat nelineární funkcí

$$D_0 = p_1 T^{p_2} \quad (2.203)$$

- 3) Zaplnění vlákenné stužky jako funkci $\mu_0[T; D_0(T); \rho]$ lze vypočítat podle vztahu (1.10). Empirickou funkci $\mu_0(T)$ lze rovněž úspěšně aproximovat nelineární funkcí

$$\mu_0 = p_1 T^{p_2} \quad (2.204)$$

- 4) Pro výpřed příze jemnosti T , zakroucené s intenzitou kroucení úměrnou koeficientu zákrutu α_F , se do zkrucovací zóny prstencového dopřádacího stroje přivádí vlákenná stužka vzniklá protažením předlohy v průtažném ústrojí, jejíž jemnost označíme symbolem T_p . Jemnost této stužky je funkcí jemnosti vypřádané příze T a jejího seskání δ , pro níž úpravou vztahu (1.14) obdržíme

$$T_p = (1 - \delta) T \quad (2.205)$$

Hodnoty parametrů p_1 a p_2 regresní funkce $D_0(T)$ podle (2.203) platí pro všechny vláknenné stužky vyrobené stejnou technologií a ze stejného druhu vláken. Na základě uvedeného pro ekvivalentní průměr D_p materiálově i technologicky identické stužky o jemnosti T_p můžeme psát

$$D_p = p_1 [(1 - \delta) T]^{p_2} \quad (2.206)$$

Po zohlednění tvaru regresní funkce $D_0(T)$ podle (2.203) pro materiálově a technologicky identické stužky vztah (2.206) můžeme upravit na tvar

$$D_p = (1 - \delta)^{p_2} D_0 \quad (2.207)$$

Dosadíme-li nyní D_p podle (2.207) do definičního vztahu pro ε , po jeho úpravě pro radiální stlačitelnost prstencové příze vlivem zakrucování obdržíme vztah

$$\varepsilon = 1 - \frac{D}{(1 - \delta)^{p_2} D_0} \quad (2.208)$$

kde p_2 je regresní parametr funkce $D_0(T)$ podle (2.203).

Parametry D_0 a p_2 aproximačních funkcí $D(\alpha_F)$ podle (2.202), příslušných k přízím sudých jemností z intervalu $T \in \langle 16; 50 \rangle$ tex, stanovíme linearizovanou regresí s kriteriem minima čtverců odchylek v souřadnicích $(\alpha_F; \ln D)$ a s použitím párových hodnot $(\alpha_{Fj}; D_{ij})$ pro $T_i = \text{konst}$, obsažených v tabulkách Tab.7a až 7c přílohy práce. Výsledky provedených regresních řešení, jmenovitě hodnoty regresních parametrů D_0 a p_2 a koeficientů korelace R , jsou uvedeny v Tab.9 přílohy. V této tabulce jsou rovněž uvedeny vypočítané hodnoty μ_0 podle již citovaného vztahu (1.10). Pro ilustraci uvádím regresní funkci $D(\alpha_F)$ a její úplná testační kritéria pro průměr vlněné česané příze jemnosti $T = 16$ tex.

$$\begin{aligned} T = 16 \text{ tex: } \quad D &= 0,2203 \exp(-4,4049 \cdot 10^{-3} \alpha_F) \quad [\text{mm}] \\ R &= -0,9967 \\ MEP &= 3,00009 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^2 \\ R_a &\in \langle -0,46; 0,38 \rangle \% \\ n &= 6 \end{aligned} \quad (2.209)$$

Parametry p_1 a p_2 aproximační funkce $D_0(T)$ podle (2.203) stanovíme opět linearizovanou regresí s kriteriem minima čtverců odchylek, ale v souřadnicích $(\ln T; \ln D_0)$ a s použitím párových hodnot $(T; D_0)$, obsažených v tabulce Tab.9. Provedením řešení této regrese pro ekvivalentní průměr vlněné česané stužky v závislosti na její jemnosti získáme následující regresní funkci a testační modelové charakteristiky.

$$\begin{aligned} D_0 &= 3,47225 \cdot 10^{-2} T^{0,66456} \quad [\text{mm}] \\ R &= -0,99996 \\ MEP &= 4,32619 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^2 \\ R_a &\in \langle -0,50; 0,26 \rangle \% \\ n &= 18 \end{aligned} \tag{2.210}$$

Parametry p_1 a p_2 aproximační funkce $\mu_0(T)$ podle (2.204) stanovíme také linearizovanou regresí v logaritmických souřadnicích s použitím párových hodnot $(T; \mu_0)$ obsažených v tabulce Tab.9. Řešením této regrese pro zaplnění vlněné česané stužky získáme následující regresní funkci a testační modelové charakteristiky

$$\begin{aligned} \mu_0 &= 0,80619 T^{-0,32912} \\ R &= -0,99937 \\ MEP &= 1,27550 \cdot 10^{-6} \\ R_a &\in \langle -0,52; 1,06 \rangle \% \\ n &= 18 \end{aligned} \tag{2.211}$$

Z hodnot testačních modelových charakteristik vyplývá, že regresní funkce (2.210) a (2.211) vykazují vysokou intenzitu statistické závislosti proměnných a velmi dobrou predikční schopnost. Regresní funkce, jejichž parametry jsou obsaženy v Tab.9, jsou zejména z důvodu malého počtu dat na poměrně nižší statistické úrovni. Regresní funkce $\mu_0(T)$ neslouží k transformaci definičního vztahu pro ε , má pouze teoretickou hodnotu.

Nyní aplikací hodnoty parametru p_2 regresní funkce (2.210) vztah (2.208) můžeme upravit na tvar

$$\varepsilon = 1 - \frac{D}{(1-\delta)^{0,665} D_0} \tag{2.212}$$

Dosažením souřadnic bodů empirických funkcí $D(T; \alpha_F)$ obsažených v Tab. 7a až 7c, $\delta(T; \alpha_F)$ v Tab. 8 a $D_0(T)$ v Tab. 9 do vztahu (2.212) vypočítáme souřadnice bodů empirických funkcí $\varepsilon(T; \alpha_F)$. Tyto souřadnice jsou tabelovány v Tab. 10 přílohy jako datový soubor typu $(T_i; \alpha_{Fj}; \varepsilon_{ij})$.

Jako optimální pro stanovení regresní funkce radiální stlačitelnosti vlněné česané příze se ukázalo numerické řešení linearizované korelační regrese podle alternativy Bb), popsané v kap. 2.1.3.2, ke kterému přísluší upravený datový soubor typu $(T_i; \alpha_{Fi}; \varepsilon_i)$, obsažený v Tab.10. Jestliže provedeme řešení této regrese na PC počítači podle příslušného programu, obdržíme následující regresní parametry, testační modelové charakteristiky, transformovanou regresní funkci $\varepsilon(T; \alpha)$ a následným výpočtem stanovené intervaly hodnot koeficientu zákrutu radiální stlačitelnosti standardní vlněné česané příze vlivem zakrucování.

$$\begin{aligned}
 p_1 &= 0,14874 \text{ ktex}^{-0,518} \text{ m}^{0,393} & R &= 0,99969 \\
 q &= 1,31880 & MEP &= 8,99311 \cdot 10^{-7} \\
 K_z &= 22,86750 \text{ ktex}^{0,687} \text{ m}^{-1} & R_a &\in \langle -1,09; 1,42 \rangle \\
 z &= -0,68659 & n &= 108 \\
 p_2 &= 0,39266 \\
 \varepsilon &= 0,149(\alpha - 0,290 T^{0,632})^{0,393} \\
 \alpha &\in \langle 3,44; 8,50 \rangle \text{ ktex}^{1,319} \text{ m}^{-1} & (2.213) \\
 &\langle 0; 0,3170 \rangle \\
 \varepsilon(T; \alpha) &\in \langle \langle 0,1864; 0,2819 \rangle \rangle
 \end{aligned}$$

Dolní mezní hodnota koeficientu zákrutu α s exponentem kroucení $q = 1,31880$ byla stanovena z podmínky rovnosti ve vztahu (2.134).

Transformováním regresní funkce $\varepsilon(\alpha^*)$ podle příslušných vztahů uvedených v kap. 1.7.1 pro radiální stlačitelnost jako funkci $\varepsilon(T; Z^*)$, $\varepsilon(T; \alpha_F^*)$ a $\varepsilon(T; \alpha_K^*)$ obdržíme následující vztahy a intervaly hodnot, kterých nabývají standardní vlněné česané příze.

$$\varepsilon = 4,158 \cdot 10^{-3} T^{0,518} (Z - 2624,114 T^{-0,687})^{0,393} \quad (2.214)$$

$$\varepsilon = 2,536 \cdot 10^{-2} T^{0,256} (\alpha_F - 26,241 T^{-0,020})^{0,393} \quad (2.215)$$

$$\begin{aligned} & \langle 0,1283; 0,2815 \rangle \\ \varepsilon(T; \alpha_F) \in & \\ & \langle \langle 0,1755; 0,2090 \rangle \rangle \end{aligned}$$

$$\varepsilon = 1,614 \cdot 10^{-2} T^{0,322} (\alpha_K - 89,982 T^{-0,187})^{0,393} \quad (2.216)$$

$$\begin{aligned} & \langle 0,1287; 0,2823 \rangle \\ \varepsilon(T; \alpha_K) \in & \\ & \langle \langle 0 \rangle \rangle \end{aligned}$$

Pro vizuální posouzení kvality provedené regrese podle Grafu 18 bylo opět použito grafické zpracování, u něhož kritériem je rozptyl bodů vybraných empirických funkcí v souřadnicích $[\varepsilon_i(T; \alpha_F); \varepsilon(T; \alpha_F)]$ kolem korelační přímky $\varepsilon = \varepsilon_i$, kde ε je empirická souřadnice obsažená v Tab.10, ε_i je její párová hodnota vypočítaná podle transformované funkce (2.215). Z vypočítaných hodnot testačních modelových charakteristik i z grafického zobrazení vyplývá, že provedená regrese typu $\varepsilon(\alpha^*)$ je na vysoké statistické úrovni.

Na Grafu 19 je zobrazena funkční závislost (2.215); tento graf může sloužit jako nomogram k odečítání hodnot radiální stlačitelnosti standardních vlněných česaných přízí v závislosti na T a α_F . Z Grafu 19 je možné stanovit také zúžený interval hodnot radiální stlačitelnosti $\langle \langle \varepsilon \rangle \rangle$, kterých nabývají standardní vlněné česané příze všech jemností.

2.2.6 Intenzita zpevnění vlněné česané příze

Intenzita zpevnění vyplynula z modelu třecí pevnosti příze, popsaného v kap. 2.6 práce. Tato geometrická charakteristika označená symbolem ψ je součinem zaplnění, radiální stlačitelnosti a seskání příze definovaná vztahem (2.313) ve tvaru

$$\psi = \frac{\varepsilon \mu}{1 - \delta}$$

Předpokladem pro řešení regresní funkce $\psi(\alpha)$ pro standardní vlněnou česanou přízi je stanovení souřadnic bodů empirických funkcí $\psi(T; \alpha_F)$ pro jemnost

z intervalu $T \in \langle 16; 50 \rangle$ tex a intenzitu kroucení z intervalu $\alpha_F \in \langle 35; 60 \rangle$ ktex^{2/3}·m⁻¹. Tyto souřadnice byly vypočítány podle uvedeného definičního vztahu s použitím trojice hodnot empirických funkcí $\varepsilon(T; \alpha_F)$ z Tab.10, $\mu(T; \alpha_F)$ z Tab.7a až 7c a $\delta(T; \alpha_F)$ z Tab.8 vždy pro stejné hodnoty proměnných T a α_F . Vypočítané hodnoty jsou tabelovány v Tab.11 přílohy práce jako datový soubor typu $(T_i; \alpha_{Fi}; \psi_i 10^2)$.

Pro stanovení regresní funkce intenzity zpevnění vlněné česané příze jako optimální se ukázalo numerické řešení linearizované korelační regrese podle alternativy Bb) popsané v kap. 2.1.3.2, ke kterému přísluší upravený datový soubor typu $(T_i; \alpha_{Fi}; \psi_i)$, obsažený v Tab.11. Řešením této regresní úlohy na PC počítači podle příslušného programu obdržíme následující regresní parametry, testační modelové charakteristiky a transformovanou regresní funkci $\psi(T; \alpha)$, jakož i následným výpočtem stanovené intervaly hodnot koeficientu zákrutu a intenzity zpevnění standardní vlněné česané příze.

$$\begin{aligned}
 p_1 &= 9,58623 \cdot 10^{-3} \text{ ktex}^{-0,675} \text{ m}^{0,811} & R &= 0,99958 \\
 q &= 0,83222 & MEP &= 3,99844 \cdot 10^{-7} \\
 K_Z &= 27,95270 \text{ ktex}^{0,556} \text{ m}^{-1} & R_a &\in \langle -1,46; 1,64 \rangle \\
 z &= -0,55559 & n &= 108 \\
 p_2 &= 0,81120
 \end{aligned}$$

$$\psi = 9,856 \cdot 10^{-3} (\alpha - 4,136 T^{0,277})^{0,811}$$

$$\alpha \in \langle 17,67; 36,56 \rangle \text{ ktex}^{0,832} \text{ m}^{-1} \quad (2.217)$$

$$\psi(T; \alpha) \in \left\langle \langle 3,90 \cdot 10^{-2}; 1,46 \cdot 10^{-1} \rangle \right\rangle$$

Transformací regresní funkce $\psi(\alpha^*)$ podle příslušných vztahů uvedených v kap. 1.7.1 pro intenzitu zpevnění jako funkci $\psi(T; Z^*)$, $\psi(T; \alpha_F^*)$ a $\psi(T; \alpha_K^*)$ obdržíme následující vztahy a intervaly hodnot, kterých nabývají standardní vlněné česané příze

$$\psi = 9,299 \cdot 10^{-5} T^{0,675} (Z - 1297,757 T^{-0,556})^{0,811} \quad (2.218)$$

$$\psi = 3,898 \cdot 10^{-3} T^{0,134} (\alpha_F - 12,978 T^{0,111})^{0,811} \quad (2.219)$$

$$\psi(T; \alpha_F) \in \left\langle 5,72 \cdot 10^{-2}; 1,31 \cdot 10^{-1} \right\rangle \\ \left\langle \left\langle 5,91 \cdot 10^{-2}; 1,18 \cdot 10^{-1} \right\rangle \right\rangle$$

$$\psi = 1,532 \cdot 10^{-3} T^{0,270} (\alpha_K - 41,039 T^{-0,056})^{0,811} \quad (2.220)$$

$$\psi(T; \alpha_K) \in \left\langle 5,73 \cdot 10^{-2}; 1,32 \cdot 10^{-1} \right\rangle \\ \left\langle \left\langle 8,19 \cdot 10^{-2}; 9,41 \cdot 10^{-1} \right\rangle \right\rangle$$

Pro možnost vizuálního posouzení kvality řešené regrese bylo provedeno zobrazení na Grafu 20, u něhož kritériem je rozptyl bodů vybraných empirických funkcí v souřadnicích $[\psi_i(T; \alpha_F); \psi(T; \alpha_F)]$ kolem korelační přímky $\psi = \psi_i$, kde ψ je empirická hodnota souřadnice znázorněného bodu obsažená v Tab.11, ψ_i je její párová hodnota, vypočítaná podle transformované funkce (2.219). Z hodnot testačních modelových charakteristik i z grafického zpracování vyplývá, že provedená regrese je na vysoké statistické úrovni.

Na Grafu 21 v příloze práce je graficky zpracována funkční závislost $\psi(T; \alpha_F)$ podle (2.219). Tento graf může sloužit k odečtu orientačních hodnot intenzity zpevnění standardních vlněných česaných přízí jako funkce jemnosti a intenzity kroucení na bázi α_F .

2.2.7 Závěr ke geometrickému modelu vlněné česané příze

Geometrický model vlněné česané příze v koncentrované podobě je soustředěn do tabulky TAB.III, ve které jsou uvedeny hodnoty parametrů všech regresních funkcí a testační modelové charakteristiky vypovídající o jejich statistické úrovni.

Z tabulky je zřejmé, že u většiny veličin hodnota exponentu kroucení pochází z otevřeného intervalu $q \in (0; 1)$. Koeficienty zákrutu α s exponenty kroucení z tohoto intervalu ve standardních jednotkách $\text{ktex}^q \text{m}^{-1}$ a v oblasti vymezené okrajovými podmínkami kroucení vlněné česané příze nabývají hodnot řádu 10^1 až 10^2 .

Typ funkce	$\kappa(\alpha)[l]$	$D(\alpha)[m]$	$\delta(\alpha)[l]$	$\mu(\alpha^*)[l]$	$\varepsilon(\alpha^*)[l]$	$\psi(\alpha^*)[l]$
p_1	$1,71546 \cdot 10^2$	$5,46048 \cdot 10^{-3}$	$9,35432 \cdot 10^{-5}$	$7,29244 \cdot 10^{-2}$	$1,48735 \cdot 10^{-1}$	$9,85623 \cdot 10^{-3}$
q	0,57515	-1,75077	0,62565	0,35498	1,31880	0,83222
K_z	—	—	—	132,41000	22,86750	27,95270
z	—	—	—	0,08031	-0,68659	-0,55559
p_2	0,75272	-0,24728	1,42547	0,38003	0,39266	0,81120
R	0,99942	—	0,99948	0,99955	0,99969	0,99967
MEP	$3,05912 \cdot 10^{-6}$	—	$6,14854 \cdot 10^{-8}$	$2,12388 \cdot 10^{-6}$	$8,99311 \cdot 10^{-7}$	$3,99844 \cdot 10^{-7}$
$R_a[\%]$	<-1,37;0,91>	—	<-2,44;1,89>	<-1,01;0,48>	<-1,09;1,42>	<-1,46;1,64>

První odchylkou je hodnota exponentu kroucení $q < 0$ u průměru příze D ; koeficient zákrutu α s tímto exponentem kroucení ve standardních jednotkách a ve vymezené oblasti kroucení nabývá velmi vysokých hodnot řádu 10^4 až 10^6 . Druhou odchylku v hodnotě exponentu kroucení představuje $q > 1$ u radiální stlačitelnosti ε ; koeficient zákrutu α s tímto exponentem kroucení ve vymezené oblasti a ve standardních jednotkách nabývá hodnot řádu 10^0 .

Exponent z pochází z otevřeného intervalu $z \in (-1; 1)$, přičemž ve funkci $\mu(T; Z^*)$ je kladný a ve funkcích $\varepsilon(T; Z^*)$ a $\psi(T; Z^*)$ záporný. Z těchto skutečností vyplývá, že funkce $Z_0(T)$ je u zaplnění rostoucí a u radiální stlačitelnosti a intenzity zpevnění klesající v celém intervalu standardní jemnosti vlněné česané příze. Zákruty $Z_0(T)$ představují významný podíl ze zákrutů udělovaných přízím při nejnižší intenzitě kroucení a u veličin μ, ε a ψ nabývají hodnot z intervalů

$\mu: \quad Z_0(T) \in \langle 94,99; 104,10 \rangle \quad m^{-1}$

$\varepsilon: \quad Z_0(T) \in \langle 391,07; 178,85 \rangle \quad m^{-1}$

$\psi: \quad Z_0(T) \in \langle 278,10; 147,66 \rangle \quad m^{-1}$

Pro ilustraci uvádím, že nejmenší zákruty, které se udělují vlněným česaným přízím o jemnosti $T \in \langle 16; 50 \rangle$ tex při nejnižší intenzitě kroucení, úměrné $\alpha_F = 35 \text{ ktex}^{2/3} m^{-1}$, pocházejí z intervalu $Z(T; 35) \in \langle 551,22; 257,88 \rangle m^{-1}$.

Z hlediska polaritý a velikosti regresního parametru p_2 výjimkou je opět průměr příze, u kterého tento parametr pochází z otevřeného intervalu $p_2 \in (-1; 0)$, tudíž regresní funkce $D(\alpha)$ je obecně mocninná a v celém intervalu $\alpha \in (0; \alpha_h)$ degresívně klesající. Druhou vyjimkou pouze z hlediska velikosti je parametr $p_2 > 1$

u seskání příze, na základě čehož regresní funkci $\delta(\alpha)$ můžeme kvalifikovat jako obecně parabolickou, v celém intervalu $\langle \alpha \rangle$ progresivně rostoucí. Parametr p_2 u zbylých funkcí nabývá hodnot z intervalu $p_2 \in (0; 1)$, tudíž regresní funkce $\kappa(\alpha)$, $\mu(\alpha^*)$, $\varepsilon(\alpha^*)$ a $\psi(\alpha^*)$ jsou obecně mocninné a v intervalu $\alpha \in \langle 0; \alpha_h \rangle$, případně $\alpha \in \langle \alpha_0(T); \alpha_h \rangle$ u funkcí typu $A(\alpha^*)$, degresivně rostoucí.

Intenzita statistické závislosti zkoumaných veličin na koeficientu zákrutu a predikční schopnost regresních funkcí jsou na vysoké a přibližně stejné statistické úrovni, pouze u regresní funkce $\delta(\alpha)$ poměrné chyby regrese nabývají mírně vyšších hodnot.

2.3 Geometrický model konvertorové příze

Směšovou česanou přízi manipulace vl/PES (45/55) označme zkráceným názvem konvertorová příze. Tato příze se vyrábí zvláštním technologickým postupem, při kterém klasickým způsobem se vyrobí vlněný česanec a paralelně, zpravidla na trhacím konvertoru, se z kabelu vyrobí polyesterový trhanec žádané jemnosti. Smísením česanců a trhanců na mísícím posukovacím stroji vznikne směšový česanec manipulace vl/PES (45/55), ze kterého následným klasickým vlnářským postupem se vyrobí konvertorová příze. Tato příze se vyrábí pouze v úzkém sortimentu jemnosti i intenzity kroucení a ze stejné přádní směsi nejenom z hlediska mísícího poměru, ale také jemnosti a délky vláken každého z komponentů. Pro možnost srovnání geometrických vlastností česaných přízí různých druhů z hlediska materiálového složení empirický model této příze budeme projektovat pro oblast kroucení vymezenou okrajovými podmínkami kroucení standardní vlněné česané příze. Z uvedeného tedy vyplývá, že konvertorová příze o jemnosti a intenzitě kroucení vně úzkého intervalu obvyklého u tohoto druhu příze bude sloužit pouze jako příze hypotetická.

2.3.1 Příprava empirických dat

Ke stanovení souřadnic bodů empirických funkcí $\kappa(T; Z)$, $\mu(T; Z)$ a $Z(T; \alpha_F)$ jsem opět použil výsledky diplomové práce [18], ve které byla řešena problematika průměru v závislosti na jemnosti a intenzitě kroucení také u konvertorové příze. K experimentálnímu měření průměru jako funkce $D(T; \alpha_F)$ v citované diplomové práci byly použity vzorky konvertorové příze, jejichž charakteristiky jsou uvedeny v tabulce TAB.IV.

$T_v [\text{tex}]$	17,5	19	23	25
$Z_v [\text{m}^{-1}]$	560	520	470	470
$\rho; (\rho_{vl} / \rho_{PES}) [\text{kgm}^{-3}]$	1337,5 (1310/1360)			
$t; (t_{vl} / t_{PES}) [\text{dtex}]$	4,22 (4,98/3,60)			
$d; (d_{vl} / d_{PES}) [\mu\text{m}]$	20,04 (22,00/18,36)			
$n_0 [1]$	42	45	55	60
Výrobce	Textilana, s.p., závod 1			

Počet vzorků pro experimentální měření byl stejně jako u vlněné česané přize rozšířen o další čtyři laboratorně přikroucené vzorky původní. Pomocí algoritmu použitého v citované práci intervaly jemnosti přize a intenzity kroucení empirických funkcí $D(T; \alpha_F)$ z důvodů již uvedených byly prodlouženy na stejnou délku jako u standardní vlněné česané přize. Popsaným způsobem rozšířené souřadnice bodů empirických funkcí $D(T; \alpha_F)$ spolu se souřadnicemi bodů funkcí v pořadí $\mu(T; D; \rho)$, $Z(T; \alpha_F)$ a $\kappa(T; Z)$, vypočítaných podle vztahů (1.10), (2.71) a (2.2), jsou uvedeny v tabulkách Tab. 12a až Tab. 12c v příloze práce.

Vzhledem k tomu, že konvertorové přize všech jemností z intervalu $T \in \langle 16; 50 \rangle$ tex se hypoteticky vyprávají ze stejné přádní směsi, po dosažení průměrné hodnoty jemnosti vláken do (2.194) pro Schwarzovu konstantu jako funkci $k(t; T)$ platí

$$k = 1 - \frac{0,650}{\sqrt{T}} \quad (2.221)$$

Pro tangentu úhlu stoupání ovinů reálného povrchového vlákna a korigovaný vztah pro seskání konvertorové přize ve smyslu vztahů (2.192) a (2.193) můžeme psát

$$\text{tg } \beta_d = \left(1 - \frac{0,650}{\sqrt{T}} \right) \kappa \quad (2.222)$$

$$\delta = \text{tg}^2 \frac{\text{arc tg} \left[\left(1 - \frac{0,650}{\sqrt{T}} \right) \kappa \right]}{2} \quad (2.223)$$

Dosažením souřadnic bodů empirických funkcí $\kappa(T; \alpha_F)$ a T do vztahu (2.223) byly vypočítány souřadnice bodů empirických funkcí $\delta(T; \alpha_F)$. Tyto souřadnice jsou tabelovány v Tab. 13 přílohy práce jako datový soubor $(T_i; \alpha_{Fj}; \delta_{ij} \cdot 10^2)$.

Analogickým postupem jako u vlněné česané příze, tudíž linearizovanou regresí v souřadnicích $(\alpha_F; \ln D)$, s kriteriem minima čtverců odchylek a s použitím párových hodnot $(\alpha_{Fj}; D_{ij})$ při $T_i = \text{konst.}$, obsažených v Tab. 12a až 12c, byly stanoveny parametry D_0 a p_2 aproximační funkce $D(\alpha_F)$ podle (2.202). Výsledky těchto regresních řešení s příslušnými koeficienty korelace, jakož i hodnoty zaplnění μ_0 vypočítané podle vztahu (1.10), jsou uvedeny v tabulce Tab. 14 přílohy práce. Pro ilustraci uvádím regresní funkci $D(\alpha_F)$ a její testační charakteristiky pro průměr konvertorové příze jemnosti $T = 16$ tex.

$$\begin{aligned} T = 16 \text{ tex: } \quad D &= 0,2294 \exp(-5,1020 \cdot 10^{-3} \alpha_F) \quad [\text{mm}] \\ R &= -0,9967 \\ MEP &= 4,24963 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^2 \\ R_a &\in \langle -0,53; 0,37 \rangle \% \\ n &= 6 \end{aligned} \quad (2.224)$$

Parametry p_1 a p_2 aproximačních funkcí $D_0(T)$ podle (2.203) a $\mu_0(T_0)$ podle (2.204) stanovíme opět linearizovanou regresí v logaritmických souřadnicích proměnných, s kriteriem minima čtverců odchylek a s použitím párových hodnot $(T; D_0)$ a $(T; \mu_0)$, obsažených v tabulce Tab. 14. Provedením popsaného regresního řešení pro ekvivalentní průměr směsové vlákně stužky manipulace vl/PES (45/55) v závislosti na její jemnosti obdržíme následující regresní funkci a testační modelové charakteristiky

$$\begin{aligned} D_0 &= 3,55319 \cdot 10^{-2} T^{0,67124} \quad [\text{mm}] \\ R &= 0,99998 \\ MEP &= 1,88887 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^2 \\ R_a &\in \langle -0,40; 0,19 \rangle \% \\ n &= 18 \end{aligned} \quad (2.225)$$

Řešením popsané regrese pro zaplnění směsové vlákně stužky manipulace vl/PES (45/55) získáme následující regresní funkci a hodnoty testačních modelových charakteristik.

$$\mu_0 = 0,75402 T^{-0,34248} \quad (2.226)$$

$$R = -0,99971$$

$$MEP = 5,25000 \cdot 10^{-7}$$

$$R_a \in \langle -0,39; 0,77 \rangle \%$$

$$n = 18$$

Nyní aplikací hodnoty parametru p_2 regresní funkce $D_0(T)$ podle (2.225) vztah (2.208) pro výpočet radiální stlačitelnosti konvertorové příže vlivem zakrucování můžeme upravit na tvar

$$\varepsilon = 1 - \frac{D}{(1-\delta)^{0,671} D_0} \quad (2.227)$$

Dosazením souřadnic bodů empirických funkcí $D(T; \alpha_F)$ z tabulek Tab. 12a až 12c, $\delta(T; \alpha_F)$ z Tab. 13 a $D_0(T)$ z Tab. 14 do vztahu (2.227) vypočítáme souřadnice bodů empirických funkcí $\varepsilon(T; \alpha_F)$. Tímto způsobem vypočítané souřadnice jsou tabelovány v Tab. 15 přílohy práce jako datový soubor typu $(T_i; \alpha_{Fj}; \varepsilon_{ij})$.

Nakonec byly vypočítány souřadnice bodů empirických funkcí $\psi(T; \alpha_F)$ podle definičního vztahu (3.22) s použitím souřadnic bodů trojice empirických funkcí, jmenovitě $\varepsilon(T; \alpha_F)$ z Tab. 15, $\mu(T; \alpha_F)$ z Tab. 12a až 12c a $\delta(T; \alpha_F)$ z Tab. 13, vždy pro stejné hodnoty proměnných T a α_F . Vypočítané souřadnice jsou tabelovány v Tab. 16 přílohy práce jako datový soubor typu $(T_i; \alpha_{Fj}; \psi_{ij} \cdot 10^2)$.

2.3.2 Výsledky regresních řešení

Regresní funkce všech sledovaných veličin konvertorové příže jsou výsledkem numerických řešení linearizované korelační regrese podle původního výpočetního programu a s použitím empirických dat připravených způsobem popsáním v předchozí kapitole. Alternativy použitých regresních řešení i typy regresních funkcí sledovaných veličin jsou stejné jako u identických veličin vlněné česané příže s výjimkou analytického řešení její regresní funkce $\kappa(\alpha)$.

Výsledky provedených regresí v koncentrované formě, jmenovitě parametry p_1 , q , a p_2 , případně také K_z a z u regresních funkcí typu $A(\alpha^*)$, jakož i příslušné testační modelové charakteristiky, jsou uvedeny v tabulce TAB.V.

TAB.V

vl/PES (45/55)

Veličina	κ [1]	D [m]	δ [1]	μ [1]	ε [1]	ψ [1]
p_1	$2,02009 \cdot 10^{-2}$	$6,43015 \cdot 10^{-3}$	$1,64198 \cdot 10^{-4}$	$5,36067 \cdot 10^{-2}$	$1,52878 \cdot 10^{-1}$	$7,80009 \cdot 10^{-3}$
q	0,57998	-1,48467	0,67665	0,37500	1,23203	0,76350
K_Z	—	—	—	115,98400	23,24950	27,49440
z	—	—	—	0,06232	-0,68808	-0,55874
p_2	0,71909	-0,28091	1,35778	0,44126	0,37803	0,84969
R	0,99953	—	0,99948	0,99964	0,99969	0,99965
MEP	$3,28697 \cdot 10^{-6}$	—	$6,03007 \cdot 10^{-8}$	$1,98795 \cdot 10^{-6}$	$1,09812 \cdot 10^{-6}$	$5,46914 \cdot 10^{-7}$
R_a [%]	$\langle -1,38 ; 0,90 \rangle$	—	$\langle -1,45 ; 2,93 \rangle$	$\langle -1,10 ; 0,52 \rangle$	$\langle -0,74 ; 1,04 \rangle$	$\langle -1,28 ; 1,74 \rangle$

Aplikací regresních parametrů obsažených v uvedené tabulce pro každou ze sledovaných geometrických veličin, obecně označenou symbolem A , budeme prezentovat její regresní funkci $A(\alpha)$, nebo $A(\alpha^*)$, interval příslušného koeficientu zákrutu $\langle \alpha \rangle$ vymezený okrajovými podmínkami kroucení vlněné česané příze, dále transformované funkce $A(T; Z)$, $A(T; \alpha_F)$ a $A(T; \alpha_K)$, jakož i $A(T; Z^*)$, $A(T; \alpha_F^*)$ a $A(T; \alpha_K^*)$. Intervaly hodnot, kterých sledované veličiny nabývají u konvertorové příze, budou uvedeny na jiném místě práce.

2.3.2.1 Intenzita zákrutu konvertorové příze

$$\kappa = 2,022 \cdot 10^{-2} \alpha^{0,719} \quad (2.228)$$

$$\alpha \in \langle 50,09 ; 77,79 \rangle \text{ ktex}^{0,580} \text{ m}^{-1}$$

$$\kappa = 1,134 \cdot 10^{-3} T^{0,417} Z^{0,719} \quad (2.229)$$

$$\kappa = 3,107 \cdot 10^{-2} T^{-0,062} \alpha_F^{0,719} \quad (2.230)$$

$$\kappa = 1,358 \cdot 10^{-2} T^{0,058} \alpha_K^{0,719} \quad (2.231)$$

2.3.2.2 Průměr konvertorové příze

$$D = 6,430 \alpha^{-0,281} \text{ [mm]} \quad (2.232)$$

$$\alpha \in \langle 2,205 \cdot 10^4 ; 4,388 \cdot 10^5 \rangle \text{ ktex}^{-1,485} \text{ m}^{-1}$$

V důsledku záporného znaménka exponentu kroucení dolní mez intervalu $\langle \alpha \rangle$ vymezuje jemnost $T_h = 50 \text{ tex}$ a zákrut $Z(T_h; \alpha_{Fd}) = 257,88 \text{ m}^{-1}$, horní mez jemnost $T_d = 16 \text{ tex}$ a $Z(T_d; \alpha_{Fd}) = 944,94 \text{ m}^{-1}$.

$$D = 0,361 T^{0,417} Z^{-0,281} [\text{mm}] \quad (2.233)$$

$$D = 9,891 \cdot 10^{-2} T^{0,604} \alpha_F^{-0,281} [\text{mm}] \quad (2.234)$$

$$D = 0,137 T^{0,558} \alpha_K^{-0,281} [\text{mm}] \quad (2.235)$$

2.3.2.3 Zaplnění konvertorové příze

$$\mu = 5,361 \cdot 10^{-2} (\alpha - 5,655 T^{0,437})^{0,441} \quad (2.236)$$

$$\alpha \in \langle 116,91; 143,75 \rangle \text{ ktex}^{0,375} \text{ m}^{-1}$$

$$\mu = 1,709 \cdot 10^{-2} T^{0,165} (Z - 75,413 T^{0,162})^{0,441} \quad (2.237)$$

$$\mu = 0,130 T^{-0,128} (\alpha_F - 0,754 T^{0,729})^{0,441} \quad (2.238)$$

$$\mu = 7,847 \cdot 10^{-2} T^{-0,055} (\alpha_K - 2,385 T^{0,562})^{0,441} \quad (2.239)$$

2.3.2.4 Seskání konvertorové příze

$$\delta = 1,642 \cdot 10^{-4} \alpha^{1,358} \quad (2.240)$$

$$\alpha \in \langle 33,54; 58,17 \rangle \text{ ktex}^{0,677} \text{ m}^{-1}$$

$$\delta = 2,878 \cdot 10^{-7} T^{0,919} Z^{1,358} \quad (2.241)$$

$$\delta = 1,495 \cdot 10^{-4} T^{0,014} \alpha_F^{1,358} \quad (2.242)$$

$$\delta = 3,132 \cdot 10^{-5} T^{0,240} \alpha_K^{1,358} \quad (2.243)$$

2.3.2.5 Radiální stlačitelnost konvertorové příze

$$\varepsilon = 0,153 (\alpha - 0,543 T^{0,544})^{0,378} \quad (2.244)$$

$$\alpha \in \langle 4,56; 11,03 \rangle \text{ ktex}^{1,232} \text{ m}^{-1}$$

Dolní mez intervalu koeficientu zákrutu $\langle \alpha \rangle$ byla stanovena z podmínky rovnosti ve vztahu (2.134).

$$\varepsilon = 6,125 \cdot 10^{-3} T^{0,466} \left(Z - 2695,501 T^{-0,688} \right)^{0,378} \quad (2.245)$$

$$\varepsilon = 3,493 \cdot 10^{-2} T^{0,214} \left(\alpha_F - 26,955 T^{-0,021} \right)^{0,378} \quad (2.246)$$

$$\varepsilon = 2,260 \cdot 10^{-2} T^{0,277} \left(\alpha_K - 85,239 T^{-0,188} \right)^{0,378} \quad (2.247)$$

2.3.2.6 Intenzita zpevnění konvertorové příze

$$\psi = 7,800 \cdot 10^{-3} \left(\alpha - 6,683 T^{0,205} \right)^{0,850} \quad (2.248)$$

$$\alpha \in \langle 23,40; 44,82 \rangle \text{ ktex}^{0,764} \text{ m}^{-1}$$

$$\psi = 8,828 \cdot 10^{-5} T^{0,649} \left(Z - 1304,560 T^{-0,559} \right)^{0,850} \quad (2.249)$$

$$\psi = 4,418 \cdot 10^{-3} T^{0,082} \left(\alpha_F - 13,046 T^{0,108} \right)^{0,850} \quad (2.250)$$

$$\psi = 1,661 \cdot 10^{-3} T^{0,224} \left(\alpha_K - 41,254 T^{-0,059} \right)^{0,850} \quad (2.251)$$

2.4 Geometrický model bavlněné česané příze

Bavlněné česané příze se vypřádají v jemnostech oboustranně přesahujících interval jemností standardních vlněných česaných přízí a také s vyšší intenzitou kroucení. Pro potřeby této práce, jmenovitě pro možnost srovnání geometrických vlastností vyráběných druhů česaných přízí a pro potřeby projektování těchto vlastností, empirický model bavlněné česané příze zúžím na stejnou oblast jemností a intenzity kroucení jako u standardní vlněné česané příze. Vzhledem k tomu, že empiricky zkoumaná oblast je i po zúžení poměrně široká, domnívám se, že predikční schopnost tímto způsobem vypracovaného geometrického modelu je vyhovující i pro bavlněné česané příze o parametrech ležících vně empiricky zkoumané oblasti.

2.4.1 Příprava empirických dat

Ke stanovení souřadnic bodů empirických funkcí $D(T; \alpha_F)$ bavlněné česané příze jsem použil algoritmus obsažený v doktorské disertační práci [30], který mi osobně poskytl její autor. Dosazením těchto souřadnic do vztahů (1.10), (2.71) a (2.2) byly vypočítány souřadnice bodů empirických funkcí v pořadí $\mu[T; D(T; \alpha_F); \rho]$, $Z(T; \alpha_F)$ a $\kappa(T; Z)$. Souřadnice bodů vyjmenovaných funkcí jsou obsaženy v tabulkách Tab. 17a až 17c ve formě datového souboru typu $(T_i; \alpha_{Fj}; D_{ij}; \mu_{ij}; Z_{ij}; \kappa_{ij})$.

Pro stanovení Schwarzovy konstanty a algoritmů empirických funkcí $tg\beta_d(k; \kappa)$ a $\delta(k; \kappa)$ zavedme opět zjednodušující předpoklad, že počet vláken n_0 ve fiktivní bavlněné přízi roste lineárně s její jemností. Ke stanovení dvou bodů této lineární závislosti vycházejme z normy ČSN 80 2120 „Režné jednoduché bavlnářské příze“ [5]. Na str.14 této normy jsou stanoveny hodnoty užitečných vlastností bavlněné česané příze pro vyšší volbu, vypřádané ze surovinové skupiny M II jako příze pletařské, útkové a osnovní, v jemnostech z intervalu $T \in \langle 10; 100 \rangle$ tex. Firma Rieter ve firemní literatuře [28] pro výpřed stejného druhu příze doporučuje kvalitu bavlny na bázi jemnosti vlákna z intervalů uvedených v následující tabulce TAB.VI.

ba (100) TAB.VI

Jemnost příze T [tex]	Jemnost vlákna t			n_0 [1]	ρ [kg m ⁻³]
	$\langle t [M] \rangle$	t [M]	t [dtex]		
10	$\langle 4; 4,2 \rangle$	4,10	1,614	62	1520
100	$\langle 4,7; 5,2 \rangle$	4,95	1,950	513	

Jemnost vlákna t [M] je v jednotkách micronair, ve druhém a třetím sloupci tabulky je jemnost průměrná, počet vláken n_0 ve fiktivní přízi je stanoven z podílu T/t .

Jestliže nyní body o souřadnicích $A(10; 62)$ a $B(100; 513)$ proložíme přímkou, pro funkční závislost $n_0(T)$ obdržíme

$$n_0 = 5,01 T + 11,89 \tag{2.252}$$

Pro Schwarzovu konstantu jako funkci $k(n)$ po dosazení za n_0 z (2.252) do (2.194) obdržíme

$$k = 1 - \sqrt{\frac{1}{5,01 T + 11,89}} \tag{2.253}$$

Ve smyslu vztahů (2.192) a (2.193) pro tangentu úhlu stoupání ovinů reálného povrchového vlákna a korigovaný vztah pro seskání bavlněné česané příze můžeme psát

$$\operatorname{tg} \beta_d = \left(1 - \sqrt{\frac{1}{5,01 T + 11,89}} \right) \kappa \quad (2.254)$$

$$\delta = \operatorname{tg}^2 \frac{\operatorname{arc} \operatorname{tg} \left[\left(1 - \sqrt{\frac{1}{5,01 T + 11,89}} \right) \kappa \right]}{2} \quad (2.255)$$

Po dosazení souřadnic bodů empirických funkcí $\kappa(T; \alpha_F)$ z Tab. 17a až 17c a příslušných hodnot T do (2.255) byly vypočítány souřadnice bodů empirických funkcí $\delta(T; \alpha_F)$. Tyto souřadnice jsou tabelovány v Tab. 18 přílohy práce jako datový soubor typu $(T_i; \alpha_{Fj}; \delta_{ij} \cdot 10^2)$.

Analogickým postupem, stejnou regresí a s použitím hodnot stejných empirických funkcí jako u vlněné a konvertorové česané příze byly stanoveny parametry D_0 a p_2 regresních funkcí $D(\alpha_F)$ pro $T = \text{konst.}$ Výsledky těchto regresních řešení s příslušnými koeficienty korelace, jakož i hodnoty zaplnění μ_0 vypočítané podle vztahu (1.10), jsou uvedeny v tabulce Tab. 19 přílohy práce. Pro ilustraci uvádím regresní funkci $D(\alpha_F)$ a její testační modelové charakteristiky pro průměr bavlněné česané příze jemnosti $T = 16 \text{ tex}$.

$$\begin{aligned} T = 16 \text{ tex:} \quad & D = 0,2080 \exp(-4,4501 \cdot 10^{-3} \alpha_F) \text{ [mm]} \\ & R = -0,9907 \\ & MEP = 7,91586 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^2 \\ & R_a \in (-0,78; 0,56) \% \\ & n = 6 \end{aligned} \quad (2.256)$$

Parametry p_1 a p_2 aproximačních funkcí $D_0(T)$ podle (2.203) a $\mu_0(T)$ podle (2.204) stanovíme stejně jako u vlněné a konvertorové příze linearizovanou regresí v logaritmických souřadnicích proměnných, s kriteriem minima čtverců odchylek a s použitím párových hodnot $(T; D_0)$ a $(T; \mu_0)$, obsažených v tabulce Tab. 19 přílohy práce. Provedením popsanych regresních řešení pro ekvivalentní průměr a pro zaplnění bavlněné vlákenné stužky obdržíme následující regresní funkce a testační modelové charakteristiky.

$$D_0 = 3,23390 \cdot 10^{-2} T^{0,670} \quad [\text{mm}] \quad (2.257)$$

$$R = 0,99998$$

$$MEP = 2,29571 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^2$$

$$R_a \in \langle -0,35; 0,18 \rangle \%$$

$$n = 18$$

$$\mu_0 = 0,80097 T^{-0,34006} \quad (2.258)$$

$$R = -0,99965$$

$$MEP = 6,96660 \cdot 10^{-7}$$

$$R_a \in \langle -0,38; 0,77 \rangle \%$$

$$n = 18$$

Nyní po dosazení hodnoty parametru p_2 regresní funkce $D_0(T)$ podle (2.257) do vztahu (2.208) pro výpočet radiální stlačitelnosti bavlněné česané příze vlivem zakrucování obdržíme

$$\varepsilon = 1 - \frac{D}{(1 - \delta)^{0,670} D_0} \quad (2.259)$$

Dosazením souřadnic bodů empirických funkcí $D(T; \alpha_F)$ z tabulek Tab. 17a až 17c, $\delta(T; \alpha_F)$ z Tab. 18 a $D_0(T)$ z Tab. 19 do vztahu (2.259) vypočítáme souřadnice bodů empirických funkcí $\varepsilon(T; \alpha_F)$. Tímto způsobem vypočítané souřadnice jsou tabelovány v Tab. 20 přílohy práce jako datový soubor typu $(T_i; \alpha_{Fj}; \varepsilon_{ij})$.

Nakonec byly vypočítány souřadnice bodů empirických funkcí intenzity zpevnění bavlněné česané příze $\psi(T; \alpha_F)$ podle definičního vztahu (3.22) a s použitím souřadnic bodů trojice funkcí, jmenovitě $\varepsilon(T; \alpha_F)$ z Tab. 20, $\mu(T; \alpha_F)$ z Tab. 17a až 17c a $\delta(T; \alpha_F)$ z Tab. 18, vždy pro stejné hodnoty proměnných T a α_F . Vypočítané souřadnice jsou tabelovány v Tab. 21 přílohy práce jako datový soubor typu $(T_i; \alpha_{Fj}; \psi_{ij} \cdot 10^2)$.

2.4.2 Výsledky regresních řešení

Regresní funkce všech sledovaných veličin bavlněné česané příze jsou výsledkem numerických řešení linearizované korelační funkce podle původního výpočetního programu a s použitím empirických dat připravených způsobem popsáním v předchozí

kapitole. Alternativy použitých regresních řešení i typy regresních funkcí jsou stejné jako u identických veličin konvertorové příze.

Výsledky provedených regresních řešení v koncentrované formě, jmenovitě parametry p_1 , q a p_2 , případně také K_z a z u regresních funkcí typu $A(\alpha^*)$, jakož i příslušné testační modelové charakteristiky, jsou uvedeny v tabulce TAB.VII.

Stejně jako u konvertorové příze v dalších kapitolách jsou prezentovány regresní funkce typu $A(\alpha)$ nebo $A(\alpha^*)$, interval příslušného koeficientu zákrutu $\langle \alpha \rangle$ vymezený okrajovými podmínkami kroucení standardní vlněné česané příze a transformované funkce $A(T;Z)$, $A(T;\alpha_F)$, $A(T;\alpha_K)$, jakož i $A(T;Z^*)$, $A(T;\alpha_F^*)$ a $A(T;\alpha_K^*)$ všech sledovaných veličin bavlněné česané příze

ba (100)

TAB.VII

Veličina	κ [1]	D [m]	δ [1]	μ [1]	ε [1]	ψ [1]
p_1	$1,67861 \cdot 10^{-2}$	$5,34315 \cdot 10^{-3}$	$1,02693 \cdot 10^{-4}$	$9,03252 \cdot 10^{-2}$	$1,12277 \cdot 10^{-1}$	$2,04401 \cdot 10^{-2}$
q	0,58015	-1,71637	0,63416	0,27671	1,50313	0,83237
K_z	—	—	—	77,16490	27,12500	30,11860
z	—	—	—	-0,21324	-0,68222	-0,61978
p_2	0,74738	-0,25262	1,41447	0,32101	0,30722	0,60361
R	0,99936	—	0,99950	0,99979	0,99957	0,99951
MEP	$3,66046 \cdot 10^{-6}$	—	$5,94094 \cdot 10^{-8}$	$1,09086 \cdot 10^{-6}$	$1,37168 \cdot 10^{-6}$	$6,11671 \cdot 10^{-7}$
R_a [%]	<-1,71;0,63>	—	<-2,52;1,75>	<-0,94;0,82>	<-0,97;1,54>	<-1,21;2,64>

2.4.2.1 Intenzita zákrutu bavlněné česané příze

$$\kappa = 1,679 \cdot 10^{-2} \alpha^{0,747} \quad (2.260)$$

$$\alpha \in \langle 50,09; 77,79 \rangle \text{ ktex}^{0,580} \text{ m}^{-1}$$

$$\kappa = 8,398 \cdot 10^{-4} T^{0,434} Z^{0,747} \quad (2.261)$$

$$\kappa = 2,624 \cdot 10^{-2} T^{-0,065} \alpha_F^{0,747} \quad (2.262)$$

$$\kappa = 1,110 \cdot 10^{-2} T^{0,060} \alpha_K^{0,747} \quad (2.263)$$

2.4.2.2 Průměr bavlněné česané příze

$$D = 5,343 \alpha^{-0,253} \text{ [mm]} \quad (2.264)$$

$$\alpha \in \langle 4,405 \cdot 10^4 ; 1,141 \cdot 10^6 \rangle \text{ ktex}^{-1,716} \text{ m}^{-1}$$

V důsledku záporného znaménka u exponentu kroucení dolní mez intervalu $\langle \alpha \rangle$ vymezuje jemnost příze $T_h = 50 \text{ tex}$ a zákrut $Z(T_h ; \alpha_{Fd}) = 257,88 \text{ m}^{-1}$, horní mez jemnost $T_d = 16 \text{ tex}$ a $Z(T_d ; \alpha_{Fh}) = 944,94 \text{ m}^{-1}$.

$$D = 0,267 T^{0,434} Z^{-0,253} \text{ [mm]} \quad (2.265)$$

$$D = 8,352 \cdot 10^{-2} T^{0,602} \alpha_F^{-0,253} \text{ [mm]} \quad (2.266)$$

$$D = 0,112 T^{0,560} \alpha_K^{-0,253} \text{ [mm]} \quad (2.267)$$

2.4.2.3 Zaplnění bavlněné česané příze

$$\mu = 9,033 \cdot 10^{-2} (\alpha - 49,775 T^{0,063})^{0,321} \quad (2.268)$$

$$\alpha \in \langle 175,33 ; 192,80 \rangle \text{ ktex}^{0,277} \text{ m}^{-1}$$

$$\mu = 4,890 \cdot 10^{-2} T^{0,089} (Z - 336,626 T^{-0,213})^{0,321} \quad (2.269)$$

$$\mu = 0,214 T^{-0,125} (\alpha_F - 3,366 T^{0,453})^{0,321} \quad (2.270)$$

$$\mu = 0,148 T^{-0,071} (\alpha_K - 10,645 T^{0,287})^{0,321} \quad (2.271)$$

2.4.2.4 Seskání bavlněné česané příze

$$\delta = 1,027 \cdot 10^{-4} \alpha^{1,414} \quad (2.272)$$

$$\alpha \in \langle 40,06 ; 66,17 \rangle \text{ ktex}^{0,634} \text{ m}^{-1}$$

$$\delta = 2,092 \cdot 10^{-7} T^{0,897} Z^{1,414} \quad (2.273)$$

$$\delta = 1,411 \cdot 10^{-4} T^{-0,046} \alpha_F^{1,414} \quad (2.274)$$

$$\delta = 2,769 \cdot 10^{-5} T^{0,190} \alpha_K^{1,414} \quad (2.275)$$

2.4.2.5 Radiální stlačitelnost bavlněné česané příze

$$\varepsilon = 0,212 (\alpha - 0,094 T^{0,821})^{0,307} \quad (2.276)$$

$$\alpha \in \langle 2,33 ; 4,90 \rangle \text{ ktex}^{1,503} \text{ m}^{-1}$$

Dolní mez intervalu koeficientu zákrutu $\langle \alpha \rangle$ byla stanovena z podmínky rovnosti ve vztahu (2.134).

$$\varepsilon = 8,741 \cdot 10^{-3} T^{0,462} (Z - 3020,152 T^{-0,682})^{0,307} \quad (2.277)$$

$$\varepsilon = 3,597 \cdot 10^{-2} T^{0,257} (\alpha_F - 30,202 T^{-0,016})^{0,307} \quad (2.278)$$

$$\varepsilon = 2,526 \cdot 10^{-2} T^{0,308} (\alpha_K - 95,506 T^{-0,182})^{0,307} \quad (2.279)$$

2.4.2.6 Intenzita zpevnění bavlněné česané příze

$$\psi = 2,044 \cdot 10^{-2} (\alpha - 6,935 T^{0,213})^{0,604} \quad (2.280)$$

$$\alpha \in \langle 17,67 ; 35,56 \rangle \text{ ktex}^{0,832} \text{ m}^{-1}$$

$$\psi = 6,357 \cdot 10^{-4} T^{0,502} (Z - 2178,587 T^{-0,620})^{0,604} \quad (2.281)$$

$$\psi = 1,024 \cdot 10^{-2} T^{0,100} (\alpha_F - 21,786 T^{0,047})^{0,604} \quad (2.282)$$

$$\psi = 5,113 \cdot 10^{-3} T^{0,201} (\alpha_K - 68,893 T^{-0,120})^{0,604} \quad (2.283)$$

2.5 Porovnání geometrických modelů česaných přízí

Geometrické modely sledovaných druhů česaných přízí porovnáme jak z hlediska kvalitativního, čili z hlediska typu a charakteru regresních funkcí sledovaných veličin, tak také z hlediska kvantitativního, jmenovitě z hlediska hodnot, kterých tyto funkce nabývají u porovnávaných druhů česaných přízí, vyrobených za stejných srovnávacích podmínek. Za srovnávací podmínky česaných přízí zvolme okrajové podmínky kroucení stanovené oborovou normou ON 80 2320 [6] pro standardní vlněné česané příze.

Citovaná norma pro dolní mezní jemnost příze $T_d = 16 \text{ tex}$ stanovuje dolní mezní zákrut $Z_d = 551,22 \text{ m}^{-1}$, pro horní mezní hodnoty $T_h = 50 \text{ tex}$ a $Z_h = 442,08 \text{ m}^{-1}$. Pro kvantitativní porovnání vlákenných stužek jsou určující pouze uvedené mezní jemnosti T_d a T_h .

Jak již bylo v práci konstatováno, jemnost vyjádřená délkovou hmotností nekvantifikuje příčný rozměr délkového vlákenného útvaru. Abychom eliminovali vliv rozdílné hustoty vláken na plochu jejich průřezu, provedeme také kvantitativní porovnání stužek a přízí o stejné plošné jemnosti. Dosazením hustoty vlny $\rho = 1310 \text{ kgm}^{-3}$ do definičního vztahu (1.8) obdržíme mezní plošné jemnosti $\tilde{T}_d = 12,21 \text{ tēx}$ a $\tilde{T}_h = 38,17 \text{ tēx}$ pro toto porovnání. Abychom mohli aplikovat regresní funkce typu $A(T)$, $A(T; Z)$ a $A(T; Z^*)$ pro výpočet porovnávaných hodnot, kterých tyto funkce nabývají u stejnoplochých vlákenných útvarů, ze vztahu (1.8) vyjádříme ekvivalentní jemnost se symbolem $\tau [\text{tex}]$ jako funkci $\tau(\tilde{T}; \rho)$ ve tvaru

$$\tau = 1 \cdot 10^{-3} \rho \tilde{T} \quad (2.284)$$

Jestliže nyní za $\tilde{T}$ dosadíme vypočítané hodnoty mezních plošných jemností $\tilde{T}_d$ a $\tilde{T}_h$, pro ekvivalentní mezní jemnosti jako funkce hustoty vláken porovnávaných útvarů obdržíme

$$\tau_d = 1,221 \cdot 10^{-2} \rho \quad (2.285)$$

$$\tau_h = 3,817 \cdot 10^{-2} \rho \quad (2.286)$$

Po dosazení hustoty vláken vlny $\rho = 1310 \text{ kgm}^{-3}$, hustoty příadní směsi vl/PES (45/55) $\rho = 1337,5 \text{ kgm}^{-3}$ a bavlny $\rho = 1520 \text{ kgm}^{-3}$ do vztahů (2.285) a (2.286) obdržíme srovnávací podmínky pro porovnání útvarů o stejné ploše vláken v průřezu, jak jsou uvedeny v tabulce TAB.VIII.

TAB.VIII

Příadní směs	$\tau_d [\text{tex}]$	$Z_d [\text{m}^{-1}]$	$\tau_h [\text{tex}]$	$Z_h [\text{m}^{-1}]$
vl (100)	16	551,22	50	442,08
vl/PES (45/55)	16,33		51,05	
ba (100)	18,56		58,02	

Z porovnání regresních funkcí je zřejmé, že u některých sledovaných veličin číselné hodnoty regresních parametrů, nebo hodnoty těchto funkcí, jsou velmi blízké

u dvou, případně u všech porovnávaných útvarů. Pokusme se proto stanovit testovací kritérium, pomocí kterého by bylo možné tyto hodnoty deklarovat jako velmi blízké, případně jejich rozdíl jako nevýznamný. Je známou skutečností, že aritmetický průměr $\bar{x}$ množiny přirozených čísel je vždy větší než její geometrický průměr $\overset{\circ}{x}$; definiční vztahy zmíněných průměrů neuvádím, protože jsou notoricky známé. Z výše konstatované skutečnosti vyplývá, že jestliže číselné hodnoty průměrů $\bar{x}$ a $\overset{\circ}{x}$ jsou stejné, nebo nevýznamně rozdílné, hodnocená množina obsahuje buď pouze stejná, anebo velmi blízká přirozená čísla. Protože chceme stanovit testovací kritérium pro porovnávání množin nebo číselných dat, u kterých průměry $\bar{x}$ a $\overset{\circ}{x}$ nabývají rozdílných hodnot, jejich poměrný rozdíl označený symbolem $\delta \bar{x}$, definujme vztahem

$$\delta \bar{x} = \frac{\bar{x} - \overset{\circ}{x}}{\overset{\circ}{x}} \quad (2.287)$$

Poměrně jednoduchou numerickou analýzou lze prokázat, že pro množiny přirozených čísel platí nejméně dvě zákonitosti:

- při stejném počtu čísel v množině poměrný rozdíl $\delta \bar{x}$ je větší u množiny obsahující menší čísla;
- u množin o stejném počtu stejných čísel, ale u každé v jiném řádu, je poměrný rozdíl $\delta \bar{x}$ stejný; při vědomí této zákonitosti testování na bázi rozdílu aritmetického a geometrického průměru je možné provádět v libovolném řádu testovaných hodnot.

U obdobných statistických testů testovací kritická hodnota je tabelovaná a je funkcí zvolené hladiny významnosti a počtu prvků v náhodných výběrech. Test významnosti rozdílu aritmetického a geometrického průměru přirozených čísel nemá oporu v zákonitostech statistické matematiky a tudíž testovací kritickou hodnotu musíme stanovit empiricky. Se zřetelem na potřeby této práce testovací kritickou hodnotu stanovme podle následující zásady: jako testovací kritická hodnota je vyhovující taková hodnota poměrného rozdílu $\delta \bar{x}$, při jejíž aplikaci podmínky testu splňují porovnávané hodnoty složených funkcí $y = F[f_1(x_1); f_2(x_2); f_3(x_3); \dots f_n(x_n)]$ testovaných veličin pouze tehdy, jestliže podmínky testu splňují také hodnoty všech funkcí nezávisle proměnných veličin $f_1(x_1), f_2(x_2), f_3(x_3), \dots, f_n(x_n)$; jako příklad uveďme $f_1(x_1) = x_1, f_2(x_2) = \sqrt{x_2}, f_3(x_3) = 1 - x_3$. Praktické výpočty prokázaly, že stanovené zásadě vyhovuje nerovnost $\delta \bar{x} < 0,0001$, čili poměrný rozdíl aritmetického

a geometrického průměru menší než jedna setina procenta. Na základě uvedeného a po zohlednění vztahu (2.287) testovací podmínku můžeme přetransformovat na tvar

$$\frac{\bar{x}}{x} < 1,0001 \quad (2.288)$$

Jestliže působnost testu rozšíříme také na oblast kladných reálných čísel, po dosazení pravých stran vztahů pro výpočet aritmetického a geometrického průměru do vztahu (2.288) a po matematické úpravě obdržíme testovací podmínku pro testování n číselných hodnot ve tvaru

$$(1,0001n)^{-n} \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)^n}{x_1 x_2 x_3 \dots x_n} < 1 \quad (2.289)$$

V této práci budeme testovat dvě až čtyři hodnoty, všechny kladné, nebo všechny záporné. Testovací podmínky, upravené pro uvedený počet absolutních hodnot reálných čísel, mají tvar

$$n = 2: \quad 0,24995 \frac{(x_1 + x_2)^2}{x_1 x_2} < 1 \quad (2.289a)$$

$$n = 3: \quad 3,70259 \cdot 10^{-2} \frac{(x_1 + x_2 + x_3)^3}{x_1 x_2 x_3} < 1 \quad (2.289b)$$

$$n = 4: \quad 3,90469 \cdot 10^{-3} \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4)^4}{x_1 x_2 x_3 x_4} < 1 \quad (2.289c)$$

Problematiku testování můžeme nakonec shrnout do následujících závěrů:

- v analogii se statistickou terminologií popsany test označme jako test významnosti rozdílu aritmetického a geometrického průměru, ve zkráceném označení jako test RAGP;
- parametry, nebo hodnoty regresních funkcí, které v závislosti na testovaném počtu splňují podmínky (2.289a) až (2.289c), budeme deklarovat jako nevýznamně rozdílné, nebo srovnatelné na bázi testu RAGP;
- na bázi testu RAGP srovnatelné tabelované hodnoty budou tištěny zvýrazněné.

2.5.1 Porovnání česaných vláknenných stužek

Česané vláknenné stužky z vláken manipulace vl (100), vl/PES (45/55) a ba (100) vznikají z přástů vyrobených česanými technologiemi vlnářskou, vlnářskou

konvertorovou a bavlnářskou a následně ztenčených v průtažném ústrojí prstencového doprřadacího stroje za současného tažení přes zhušťovače různé těsnosti a tvaru. Geometrický model každé s porovnávaných druhů vlákenných stužek obsahuje regresní funkce pouze dvou geometrických veličin, jmenovitě ekvivalentního průměru D_0 a zaplnění μ_0 , přičemž každá z veličin je funkcí pouze jemnosti stužky. Parametry těchto nelineárních regresních funkcí typu $D_0(T)$ a $\mu_0(T)$ sledovaných druhů česaných stužek jsou prezentovány v tabulce TAB.IX.

TAB.IX

Typ regresní funkce	Parametr	Druh vlákenné stužky		
		vl (100)	vl/PES (45/55)	ba (100)
$D_0(T)$ [mm]	$p_1 [\text{tex}^{-p_2} \text{mm}]$	$3,47225 \cdot 10^{-2}$	$3,55319 \cdot 10^{-2}$	$3,23390 \cdot 10^{-2}$
	$p_2 [1]$	0,66456	0,67124	0,67003
$\mu_0(T)$ [1]	$p_1 [\text{tex}^{-p_2}]$	0,80619	0,75402	0,80097
	$p_2 [1]$	-0,32912	-0,34248	-0,34006

Charakter nelineárních regresních funkcí $D_0(T)$ a $\mu_0(T)$ určuje pouze velikost a polarita parametru p_2 , který je v roli exponentu u nezávisle proměnné veličiny. Z tabulky je zřejmé, že hodnoty tohoto parametru jsou u každé z veličin relativně blízké a že u ekvivalentního průměru pocházejí z intervalu $p_2 \in (0; 1)$, tudíž regresní funkce $D_0(T)$ vlákenných stužek jsou degresívně rostoucí v celém intervalu $T \in \langle T_d; T_h \rangle$. Hodnoty regresního parametru p_2 zaplnění pocházejí z intervalu $p_2 \in (-1; 0)$, tudíž regresní funkce $\mu_0(T)$ vlákenných stužek jsou rovněž obecně mocninné, ale degresívně klesající v celém intervalu vymezeném hodnotami srovnávací jemnosti.

Z tabulky TAB.IX je dále zřejmé, že na bázi testu RAGP jsou srovnatelné hodnoty parametru p_2 a tudíž srovnatelný charakter mají regresní funkce $D_0(T)$ všech druhů vlákenných stužek, charakter regresních funkcí $\mu_0(T)$ je srovnatelný pouze u stužek z vláken manipulace vl/PES (45/55) a ba (100). Každá z veličin má srovnatelné hodnoty regresního parametru p_1 , který je v regresních funkcích v roli rozměrové konstanty, u jiné dvojice porovnávaných druhů stužek.

V tabulce TAB.X jsou prezentovány mezní hodnoty ekvivalentního průměru D_0 a zaplnění μ_0 sledovaných vlákenných stužek.

TAB.X

Mezní hodnoty veličiny/funkce	Druh vláknenné stužky		
	vl (100)	vl/PES (45/55)	ba (100)
T [tex]	$\langle 16; 50 \rangle$		
$t(T; n_0)$ [dtex]	$\langle 3,72; 6,76 \rangle$	$\langle 4,22 \rangle$	$\langle 1,74; 1,91 \rangle$
$n_0(T)$ [1]	$\langle 43; 74 \rangle$	$\langle 38; 118 \rangle$	$\langle 92; 262 \rangle$
$D_0(T)$ [mm]	$\langle 0,2192; 0,4674 \rangle$	$\langle 0,2285; 0,4909 \rangle$	$\langle 0,2073; 0,4447 \rangle$
$\mu_0(T) \cdot 10^2$ [%]	$\langle 32,37; 22,25 \rangle$	$\langle 29,17; 19,75 \rangle$	$\langle 31,20; 21,18 \rangle$
$\tilde{T}$ [tēx]	$\langle 12,21; 38,17 \rangle$		
$\tau(\tilde{T}; \rho)$ [tex]	$\langle 16; 50 \rangle$	$\langle 16,33; 51,05 \rangle$	$\langle 18,56; 58,02 \rangle$
$t(\tau; n_0)$ [dtex]	$\langle 3,72; 6,76 \rangle$	$\langle 4,22 \rangle$	$\langle 1,77; 1,92 \rangle$
$n_0(\tau)$ [1]	$\langle 43; 74 \rangle$	$\langle 39; 121 \rangle$	$\langle 105; 303 \rangle$
$D_0(\tau)$ [mm]	$\langle 0,2192; 0,4674 \rangle$	$\langle 0,2316; 0,4978 \rangle$	$\langle 0,2289; 0,4913 \rangle$
$\mu_0(\tau) \cdot 10^2$ [%]	$\langle 32,37; 22,25 \rangle$	$\langle 28,97; 19,61 \rangle$	$\langle 29,66; 20,13 \rangle$

V první polovině tabulky jsou uvedeny mezní hodnoty, kterých regresní funkce nabývají v bodech $T_d = 16 \text{ tex}$ a $T_h = 50 \text{ tex}$, ve druhé polovině v bodech τ_d a τ_h , jak byly uvedeny v TAB.VIII pro jednotlivé druhy radiálně stejnoplochých stužek. V obou částech tabulky k informativním účelům jsou uvedeny počty vláken n_0 v porovnávaných vláknenných stužkách a průměrná jemnost t elementárních vláken, ze kterých jsou tyto stužky vyrobeny. Počet vláken jako funkce $n_0(T)$, případně $n_0(\tau)$ byl vypočítán u vláknenných stužek vl(100), podle vztahu (2.195), ba(100) podle (2.252), průměrná jemnost vláken je dána podíly $t = T/n_0$, případně $t = \tau/n_0$ u radiálně stejnoplochých stužek. U hypotetických stužek z vláken manipulace vl/PES (45/55) je jemnost elementárních vláken konstantní pro každou jemnost stužky, tudíž počet vláken je funkcí podílů $n_0 = T/t$, případně $n_0 = \tau/t$.

Z první části tabulky TAB.X je zřejmé, že mezní hodnoty ekvivalentního průměru D_0 i zaplnění μ_0 , kterých nabývají izotexové vláknenné stužky vyrobené česanými technologiemi, nejsou srovnatelné na bázi testu RAGP, pravděpodobně z důvodu rozdílných geometrických a fyzikálních vlastností vlněných, polyesterových a bavlněných vláken. Z druhé části tabulky, čili z porovnání vláknenných stužek radiálně stejnoplochých vyplývá, že na bázi testu RAGP srovnatelných mezních hodnot

ekvivalentního průměru D_0 i zaplnění μ_0 nabývají pouze česané vlákenné stužky manipulace vl/PES (45/55) a ba (100).

Praktickým výpočtem lze prokázat, že tyto stužky mají navzájem srovnatelné hodnoty ekvivalentního průměru D_0 i hodnoty zaplnění μ_0 při každé stejné plošné jemnosti z intervalu $\tilde{T} \in \langle 12, 21; 38, 17 \rangle \text{tex}$. Z uvedené skutečnosti vyplývá, že přírodní objemnost bavlněné stužky je srovnatelná s objemností stejnoploché směsové stužky vl/PES, způsobené převážně vyvolaným zkadeřením polyesterového podílu. Z porovnání dále vyplynulo, že radiálně stejnoplochá vlněná stužka má největší zaplnění, tudíž nejmenší objemnost a také nejmenší ekvivalentní průměr.

2.5.2 Kvalitativní porovnání česaných přízí

Geometrické modely všech druhů česaných přízí, jmenovitě hodnoty parametrů regresních funkcí všech sledovaných geometrických veličin, jsou v koncentrované formě obsaženy v tabulce XI.

Z počtu parametrů je zřejmé, že nelineární regresní funkce intenzity zákrutu κ , průměru příze D a seskání příze δ jsou stejného typu $A(\alpha)$ u všech druhů česaných přízí, procházejí bodem $P(0; 0)$ a koeficient zákrutu je funkcí $\alpha(T; Z; q)$. Naproti tomu nelineární regresní funkce zaplnění μ , radiální stlačitelnosti ε a intenzity zpevnění ψ jsou stejného typu $A(\alpha^*)$ u všech druhů česaných přízí, tudíž procházejí bodem $P[\alpha_0(T); 0]$, koeficient zákrutu je složenou funkcí $\alpha^*[\alpha - \alpha_0(T)]$ a koeficient $\alpha_0(T)$ ve smyslu vztahu (2.133) a následného nečíslovaného vztahu funkcí $\alpha_0(T; q; z; K_z)$.

Pro trend i charakter nelineární regresní funkce je určující velikost a polarita parametru p_2 , protože je v roli exponentu u nezávisle proměnné veličiny. Z tabulky je zřejmé, že v regresních funkcích $\kappa(\alpha)$, $\mu(\alpha^*)$, $\varepsilon(\alpha^*)$ a $\psi(\alpha^*)$ u všech druhů česaných přízí parametr p_2 pochází z intervalu $p_2 \in (0; 1)$, tudíž vyjmenované funkce jsou obecně mocninné a degresívně stoupající v intervalech $\alpha \in \langle 0; \alpha_h \rangle$ a $\alpha^* \in \langle \alpha_0(T); \alpha_h^* \rangle$. V regresních funkcích $D(\alpha)$ parametr p_2 pochází z intervalu $p_2 \in (-1; 0)$ u všech druhů česaných přízí, tudíž funkce průměru příze jsou také obecně mocninné, ale degresívně klesající v intervalu $\alpha \in \langle 0; \alpha_h \rangle$.

TAB.XI

Typ regresní funkce	Parametr	Druh příze		
		vl (100)	vl/PES (45/55)	ba (100)
$\kappa(\alpha)$ [1]	$p_1 [\text{ktex}^{-p_2q} \text{m}^{p_2}]$	1,71546 ·10 ⁻²	2,02009·10 ⁻²	1,67861 ·10 ⁻²
	q [1]	0,57515	0,57998	0,58015
	p_2 [1]	0,75272	0,71909	0,74738
$D(\alpha)$ [m]	$p_1 [\text{ktex}^{-p_2q} \text{m}^{p_2+1}]$	5,46048 ·10 ⁻³	6,43015·10 ⁻³	5,34315 ·10 ⁻³
	q [1]	-1,75077	-1,48467	-1,71637
	p_2 [1]	-0,24728	-0,28091	-0,25262
$\delta(\alpha)$ [1]	$p_1 [\text{ktex}^{-p_2q} \text{m}^{p_2}]$	9,35432·10 ⁻⁵	1,64198·10 ⁻⁴	1,02693·10 ⁻⁴
	q [1]	0,62565	0,67665	0,63416
	p_2 [1]	1,42547	1,35778	1,41447
$\mu(\alpha^*)$ [1]	$p_1 [\text{ktex}^{-p_2q} \text{m}^{p_2}]$	7,29244·10 ⁻²	5,36067·10 ⁻²	9,03252·10 ⁻²
	q [1]	0,35498	0,37500	0,27671
	$K_Z [\text{ktex}^{-z} \text{m}^{-1}]$	132,41000	115,98400	77,16490
	z [1]	0,08031	0,06232	-0,21324
	p_2 [1]	0,38003	0,44126	0,32101
$\varepsilon(\alpha^*)$ [1]	$p_1 [\text{ktex}^{-p_2q} \text{m}^{p_2}]$	1,48735 ·10 ⁻¹	1,52878 ·10 ⁻¹	2,12277·10 ⁻¹
	q [1]	1,31880	1,23203	1,50313
	$K_Z [\text{ktex}^{-z} \text{m}^{-1}]$	22,86750	23,24950	27,12500
	z [1]	-0,68659	-0,68808	-0,68222
	p_2 [1]	0,39266	0,37803	0,30722
$\psi(\alpha^*)$ [1]	$p_1 [\text{ktex}^{-p_2q} \text{m}^{p_2}]$	9,85623·10 ⁻³	7,80009·10 ⁻³	2,04401·10 ⁻²
	q [1]	0,83222	0,76350	0,83237
	$K_Z [\text{ktex}^{-z} \text{m}^{-1}]$	27,95270	27,49440	30,11860
	z [1]	-0,55559	-0,55874	-0,61978
	p_2 [1]	0,81120	0,84969	0,60361

Z hlediska velikosti, polarity a také příslušnosti k regresním funkcím sledovaných veličin exponenty kroucení q můžeme rozdělit do následujících skupin:

$$q < 0: \quad D = D(\alpha)$$

$$q \in (0; 1/2): \quad \mu = \mu(\alpha^*)$$

$$q \in (1/2; 1): \quad \kappa = \kappa(\alpha); \quad \delta = \delta(\alpha); \quad \psi = \psi(\alpha^*)$$

$$q > 1: \quad \varepsilon = \varepsilon(\alpha^*)$$

Skutečnost, že hodnoty exponentů kroucení zaplnění pocházejí z intervalu $q \in (0; 1/2)$ a intenzity zákrutu z intervalu $q \in (1/2; 1)$ u všech druhů česaných přízí, koresponduje s výsledky teoretické analýzy intenzity kroucení délkového vláknenného útvaru, provedené v kap. 2.1.

Jak již bylo uvedeno, souřadnice $\alpha_0(T)$ bodu, ve kterém regresní funkce typu $A(\alpha^*)$ nabývá nulové hodnoty, je funkcí parametru K_z v roli rozměrové konstanty a parametru z v roli součtového exponentu $q + z$ u jemnosti příze. Z tabulky TAB. XI je zřejmé, že parametr K_z je kladný u všech česaných přízí a všech sledovaných geometrických veličin, pro které platí regresní funkce typu $A(\alpha^*)$. Parametr z v regresních funkcích $\varepsilon(\alpha^*)$ a $\psi(\alpha^*)$ u všech sledovaných přízí a v regresní funkci $\mu(\alpha^*)$ u ba (100) česané příze pochází z intervalu $z \in (-1; 0)$. V regresních funkcích $\mu(\alpha^*)$ vl (100) a vl/PES (45/55) přízí parametr z pochází z intervalu $z \in (0; 1)$. Vzhledem k tomu, že pro všechny záporné hodnoty parametru z platí nerovnost $|z| < q$, všechny hodnoty součtového exponentu $q + z$ pocházejí z intervalu $(q + z) \in (0; 1)$; v důsledku této skutečnosti koeficient zákrutu $\alpha_0(T)$ je mocninou a degresívně stoupající funkcí jemnosti u všech vyjmenovaných veličin a všech druhů česaných přízí.

V tabulce TAB. XI jsou zvýrazněně tištěny hodnoty parametrů regresních funkcí, které jsou na bázi testu RAGP srovnatelné s hodnotami identických parametrů a identických veličin u dvou nebo u všech tří druhů česaných přízí. Protože vliv parametrů na charakter regresních funkcí má rozdílnou váhu, výsledky testování budeme komentovat v následujícím pořadí:

- srovnatelné parametry u všech druhů přízí
- regresní funkce se všemi srovnatelnými parametry
- regresní funkce s žádným srovnatelným parametrem
- parametry vzájemně srovnatelné pouze mezi vl (100) a ba (100) přízemi
- parametry vzájemně srovnatelné pouze s parametry konvertorové příze.

Z tabulky TAB. XI je zřejmé, že pouze dva parametry regresních funkcí jsou srovnatelné u všech druhů česaných přízí, jmenovitě exponent kroucení q intenzity zákrutu κ a parametr z u radiální stlačitelnosti příze ε . Zvláštní pozornost si zaslouží zejména extrémně malý rozdíl mezi hodnotami exponentu kroucení q , protože jak již bylo v práci uvedeno, tato veličina je již velmi letitá a v minulosti různými autory k ní byla přiřazena řada velmi variabilních hodnot. Za zmínku stojí, že geometrický průměr exponentů kroucení vl (100), vl/PES (45/55) a ba (100) česaných přízí má hodnotu $\bar{q} = 0,57842$ a exponentů kroucení podle Koechlina a podle Phrixe hodnotu $q_{KP} = 0,57735$, čili relativní rozdíl činí pouze 0,19%. Zohledníme-li skutečnost, že exponenty kroucení zkoumaných přízí jsou regresního původu, tudíž jsou zatíženy výběrovými chybami, potom malé rozdíly mezi jejich hodnotami můžeme deklarovat jako nevýznamné nejenom na bázi testu RAGP, ale také statisticky. Na základě těchto poznatků můžeme vyslovit hypotézu, že pro všechny druhy česaných přízí platí jediný exponent kroucení, jehož hodnota je $\bar{q} = 0,57842$. Domnívám se, že vyslovená hypotetická zákonitost má oporu ve způsobu tvorby příze na prstencovém stroji, kde v zákrutovém trojúhelníku dochází k zakrucování na způsob tzv. svinování vláknenné stužky. Vyslovenou hypotézu i její zdůvodnění je možné potvrdit, vyvrátit, nebo rozšířit stanovením exponentu kroucení u přízí materiálově i technologicky identických s hodnocenými přízemi, ale dopřádaných na stroji s odlišným způsobem tvorby příze, případně také u přízí materiálově i technologicky odlišných od přízí hodnocených, ale dopřádaných rovněž na prstencovém stroji.

Z tabulky hodnot parametrů také vyplývá, že regresní funkce $\kappa(\alpha)$ a $D(\alpha)$ u vl (100) a ba (100) přízí mají srovnatelné všechny parametry na bázi testu RAGP. Z této skutečnosti lze vyvodit závěr, že regresní funkce každé z veličin κ a D vl (100) a ba (100) přízí mají srovnatelný charakter.

V regresních funkcích $\mu(\alpha^*)$ všech druhů česaných přízí žádný z parametrů není srovnatelný na bázi testu RAGP. Protože vlněná a bavlněná vlákna mají rozdílný tvar průřezu a směs manipulace vl/PES (45/55) je složena z vláken významně rozdílných průměrů každého ze směsových komponentů, lze se domnívat, že tvar průřezu a významně rozdílné průměry vláken směsových komponentů přírodní směsi zásadním způsobem ovlivňují charakter regresních funkcí zaplnění.

K parametrům, které jsou na bázi testu RAGP vzájemně srovnatelné pouze mezi vl (100) a ba (100) přízemi, patří exponent kroucení q v regresních funkcích $\delta(\alpha)$ a $\psi(\alpha^*)$ a parametr p_2 v regresních funkcích $\delta(\alpha)$, v důsledku čehož funkce seskání vl (100) a ba (100) přízí jsou kvalitativně srovnatelné.

Parametry regresních funkcí vl(100) příze na bázi testu RAGP vzájemně srovnatelné pouze s identickými parametry konvertorové příze jsou p_1 a K_z v regresních funkcích $\varepsilon(\alpha^*)$, k nimž můžeme připočítat také parametr z z již komentované srovnatelnosti u všech druhů přízí. Stejně srovnatelné jsou parametry K_z a z v regresních funkcích $\psi(\alpha^*)$ vl(100) a konvertorové příze. Z uvedených skutečností vyplývá, že zákrutové funkce $Z_0(T)$ se srovnatelnými parametry K_z a z u veličin ε a ψ vl(100) a vl/PES (45/55) přízí, tudíž přízí vyrobených ze staplových vláken vlnařské délky, jsou u uvedených veličin a druhů česaných přízí kvalitativně srovnatelné.

Pro studium tvorby příze z vláknenné stužky zásadní význam má zákrut jako funkce $Z_0(T)$, zejména v regresních funkcích radiální stlačitelnosti příze $\varepsilon(T; Z^*)$. Z uvedeného důvodu vedle již komentované kvalitativní srovnatelnosti funkcí $Z_0(T)$ u přízí z vláken vlnařské délky provedme jejich porovnání také na kvantitativní bázi, čili porovnání hodnot, kterých tyto funkce nabývají u sledovaných druhů přízí za stejných srovnávacích podmínek, dohodnutých v kap. 2.5. K tomuto účelu slouží mezní hodnoty zákrutových funkcí $Z_0(T)$ a $Z_0(\tau)$, jak jsou uvedeny v tabulce TAB.XII. Tyto hodnoty byly vypočítány podle vztahu (1.54) pro mezní jemnosti T , případně τ a při aplikaci parametrů K_z a z regresních funkcí $\varepsilon(\alpha^*)$ příslušného druhu příze, prezentovaných v tabulce TAB.XI.

TAB.XII

Mezní hodnoty veličiny/funkce	Druh příze		
	vl (100)	vl/PES (45/55)	ba (100)
T [tex]	$\langle 16; 50 \rangle$		
$Z_0(T)$ [m ⁻¹]	$\langle 391,07; 178,85 \rangle$	$\langle 400,06; 182,65 \rangle$	$\langle 455,07; 209,39 \rangle$
$\tilde{T}$ [tēx]	$\langle 12,21; 38,17 \rangle$		
$\tau(\tilde{T}; \rho)$ [tex]	$\langle 16; 50 \rangle$	$\langle 16,33; 51,05 \rangle$	$\langle 18,56; 58,02 \rangle$
$Z_0(\tau)$ [m ⁻¹]	$\langle 391,07; 178,85 \rangle$	$\langle 394,48; 180,06 \rangle$	$\langle 411,70; 189,18 \rangle$

Z tabulky je zřejmé, že mezní hodnoty zákrutových funkcí $Z_0(T)$ i $Z_0(\tau)$ s parametry K_z a z regresních funkcí radiální stlačitelnosti $\varepsilon(T; Z^*)$ vl(100) a vl/PES (45/55) česaných přízí, tudíž přízí vláken vlnařské délky, jsou také srovnatelné na bázi testu RAGP a že jsou menší než identické hodnoty ba(100) příze.

Praktickým výpočtem lze prokázat, že hodnoty komentovaných zákrutových funkcí vl (100) a vl/PES (45/55) česaných přízí jsou srovnatelné také při každé stejné jemnosti z intervalu $\langle \tilde{T} \rangle$.

Z regresní funkce radiální stlačitelnosti jako funkce jemnosti a zákrutu v obecném tvaru

$$\varepsilon = p_1 \{T^q [Z - Z_0(T)]\}^{p_2}$$

je zřejmé, že jestliže přízi o jemnosti T udělíme počet zákrutů $Z = Z_0(T)$, její radiální stlačitelnost vlivem zakroucení je $\varepsilon = 0$.

Z definičního vztahu (1.29) radiální stlačitelnosti, jmenovitě

$$\varepsilon = \frac{D_p - D}{D_p}$$

vyplývá, že $\varepsilon = 0$, jestliže $D = D_p$, tudíž že radiální stlačitelnost nabývá nulové hodnoty v okamžiku, kdy průměr zakrucované příze nabude hodnoty ekvivalentního průměru vláknenné stužky, ze které je příze na prstencovém stroji předena.

Na základě uvedených skutečností můžeme konstatovat, že při předení prstencové příze jemnosti T na přetvoření vláknenné stužky na útvar kruhového průřezu o průměru $D = D_p$ je potřebný zákrut $Z_0(T)$. Tento zákrut, který označíme názvem přetvářecí, v porovnání se zakrucováním vláknenné předlohy kruhového průřezu je jalový, snižující účinnost kroucení. I když existence přetvářecího zákrutu a jeho jalovosti doposud nebyla teoreticky prokázána, přadláckou praxí byla vnímána. Jako důkaz tohoto tvrzení může posloužit skutečnost, že někteří výrobci prstencových strojů v zájmu zvýšení účinnosti zakrucování do průtažného ústrojí vkládají konstrukční prvky, které minimalizují šířku spřádané vláknenné stužky.

Z regresních funkcí zaplnění $\mu(\alpha^*)$ a intenzity zpevnění $\psi(\alpha^*)$ je rovněž zřejmá existence zákrutů, při kterých tyto veličiny buď nejsou definovány, anebo nabývají nulových hodnot. Teoretická analýza této problematiky zaslouží větší plochu, než jí mohu poskytnout v této práci.

Nejdůležitější poznatky plynoucí z kvalitativního porovnání regresních funkcí česaných přízí můžeme shrnout do následujících závěrů:

- při zakrucování na principu svinování stužky určitý počet zákrutů se spotřebuje na přetvoření vláknenné stužky na vláknenný útvar stejnoplochého kruhového průřezu; tento zákrut byl pojmenován jako přetvářecí;

- přetvářecí zákruty snižují účinnost zakrucování na principu svinování stužky;
- přetvářecí zákrut je nepřímo úměrný staplové délce vláken přádní suroviny, z níž je příze vyrobena;
- přetvářecí zákrut vl (100), vl/PES (45/55) a ba (100) česaných přízí se vypočítá podle vztahu (1.54) s aplikací parametrů K_z a z regresních funkcí $\varepsilon(\alpha^*)$ tabelovaných v TAB.XI;
- pro všechny veličiny přízí předených z vlákenné stužky jsou optimální regresní funkce typu $A(\alpha^*)$.

2.5.3 Kvantitativní porovnání česaných přízí

Z důvodů uvedených v kap. 2.5 kvantitativní porovnání mezních hodnot sledovaných veličin provedeme jak u izotexových, tak také u radiálně stejnoplochých přízí. V tabulce TAB.XIII jsou obsaženy mezní hodnoty, kterých dosahují regresní funkce $\kappa(T;Z)$; $D(T;Z)$; $\delta(T;Z)$; $\mu(T;Z^*)$; $\varepsilon(T;Z^*)$ a $\psi(T;Z^*)$ izotexových česaných přízí v mezních bodech $A_d(T_d;Z_d)$ a $A_h(T_h;Z_h)$, jejichž souřadnice byly stanoveny rovněž v kap. 2.5.

Vyjmenované regresní funkce sledovaných veličin vl (100) příze jsou obsaženy v kap. 2.2.1 až 2.2.6, směšové konvertorové příze v kap. 2.3 a ba (100) příze v kap. 2.4. Mezní hodnoty úhlu stoupání fiktivního povrchového vlákna byly vypočítány aplikací vztahu $\beta_D = \arctg \kappa$. Úhel stoupání β_d reálného povrchového vlákna je funkcí $\beta_d(k;\kappa)$ podle vztahu (2.192), tudíž funkcí Schwarzovy konstanty k , definované vztahem (2.191) a intenzity zákrutu κ . Schwarz po zavedení zjednodušujících předpokladů pro vztah (2.191) doporučil řešení podle (2.194). Jestliže u sledovaných přízí závislost počtu vláken na jemnosti příze $n_0(T)$ budeme aproximovat přímkou, potom každému druhu příze je příslušná jiná funkce $k(T)$ a jiná funkce $\beta_d(k(T);\kappa)$. Popsaným postupem byly tyto funkce odvozeny pro vl (100), vl/PES (45/55) a ba (100) příze a jsou v práci uvedeny pod identifikačními čísly (2.196), (2.222) a (2.254). Aplikací vztahů (2.191) a (2.192) lze vypočítat mezní hodnoty úhlu stoupání reálného povrchového vlákna jako složené funkce $\beta_d[k(D;d);\kappa]$, nezátížené přibližným řešením Schwarzovy konstanty.

TAB.XIII

Mezní hodnoty veličiny/funkce	Druh příze		
	vl(100)	vl/PES (45/55)	ba (100)
T [tex]	$\langle 16; 50 \rangle$		
Z_d / Z_h [m ⁻¹]	551,22/442,08		
$t(T;n_0)$ [dtex]	$\langle 3,72; 6,76 \rangle$	$\langle 4,22 \rangle$	$\langle 1,74; 1,91 \rangle$
$d(t;\rho)$ [μm]	$\langle 19,01; 25,63 \rangle$	$\langle 20,04 \rangle$	$\langle 12,07; 12,65 \rangle$
$n(T;t;\delta)$ [1]	$\langle 42; 71 \rangle$	$\langle 37; 114 \rangle$	$\langle 90; 252 \rangle$
$\kappa(T;Z)$ [1]	$\langle 0,3314; 0,4606 \rangle$	$\langle 0,3371; 0,4626 \rangle$	$\langle 0,3123; 0,4337 \rangle$
$\beta_D(\kappa)$ [°]	$\langle 18,34; 24,73 \rangle$	$\langle 18,63; 24,83 \rangle$	$\langle 17,34; 23,45 \rangle$
$\beta_d[k(T);\kappa]$ [°]	$\langle 15,68; 22,11 \rangle$	$\langle 15,77; 22,79 \rangle$	$\langle 15,63; 22,17 \rangle$
$\beta_d[k(D;d);\kappa]$ [°]	$\langle 16,62; 23,02 \rangle$	$\langle 16,83; 23,50 \rangle$	$\langle 16,24; 22,62 \rangle$
$D(T;Z)$ [mm]	$\langle 0,1914; 0,3311 \rangle$	$\langle 0,1947; 0,3331 \rangle$	$\langle 0,1801; 0,3123 \rangle$
$\delta(T;Z) \cdot 10^2$ [%]	$\langle 1,89; 3,82 \rangle$	$\langle 1,94; 4,09 \rangle$	$\langle 1,89; 3,85 \rangle$
$\delta[k(D;d) \cdot 10^2]$ [%]	$\langle 2,13; 4,15 \rangle$	$\langle 2,19; 4,33 \rangle$	$\langle 2,04; 4,00 \rangle$
$\mu(T;Z^*) \cdot 10^2$ [%]	$\langle 42,78; 44,52 \rangle$	$\langle 40,40; 42,93 \rangle$	$\langle 41,58; 43,02 \rangle$
$\varepsilon(T;Z^*) \cdot 10^2$ [%]	$\langle 12,87; 28,21 \rangle$	$\langle 14,86; 31,00 \rangle$	$\langle 12,75; 28,38 \rangle$
$\psi(T;Z^*) \cdot 10^2$ [1]	$\langle 5,72; 13,12 \rangle$	$\langle 6,31; 14,08 \rangle$	$\langle 5,50; 12,70 \rangle$

Schwarzova konstanta s přibližným řešením se vyskytuje také ve složených funkcích $\delta[k(T);\kappa]$, jmenovitě ve vztazích (2.197), (2.223) a (2.255), jejichž aplikací byly připraveny datové soubory seskání pro stanovení parametrů regresních funkcí $\delta(T;Z)$ sledovaných druhů přízí. Podobně jako u úhlu stoupání reálného povrchového vlákna β_d aplikací vztahů (2.191) a (2.193) lze vypočítat také mezní hodnoty seskání příze jako složené funkce $\delta[k(D;d);\kappa]$, nezátížené přibližným řešením Schwarzovy konstanty. K účelům verifikace obecné platnosti přibližného řešení Schwarzovy konstanty, případně ke stanovení chyb tohoto řešení, výpočet mezních hodnot β_d a δ je proveden oběma způsoby.

Hodnoty veličin uvedených v záhlaví tabulky jsou pouze informativní, jmenovitě hodnoty jemnosti vláken t jsou převzaty z první části tabulky TAB.X, průměr vláken d byl vypočítán podle vztahu (1.3) a počet vláken n v přízi podle vztahu (2.300).

Pro komentování výsledků kvantitativního porovnání česaných přízí na bázi testu RAGP stanovíme následující pořadí:

- srovnatelnost mezních hodnot funkcí $\beta_d[k(T);\kappa]$, $\beta_d[k(D;d);\kappa]$, $\delta(T;Z)$, $\delta[k(D;d);\kappa]$ a komentář k relativním chybám způsobeným přibližným řešením Schwarzovy konstanty;
- veličiny jejichž mezní hodnoty jsou vzájemně srovnatelné u všech druhů příze;
- veličiny jejichž mezní hodnoty jsou vzájemně srovnatelné pouze mezi přízemi vl (100) a ba (100);
- veličiny jejichž mezní hodnoty jsou vzájemně srovnatelné pouze s identickými hodnotami konvertorové příze;
- srovnatelnost pouze jedné z mezních hodnot budeme považovat za irelevantní.

Z výsledků testování izotexových česaných přízí je zřejmé, že chybou z přibližného řešení Schwarzovy konstanty zatížené mezní hodnoty funkcí $\beta_d[k(T);\kappa]$ jsou srovnatelné u všech sledovaných druhů příze. Naproti tomu chybou nezatížené mezní hodnoty funkce $\beta_d[k(D;d);\kappa]$ vl (100) příze jsou srovnatelné s identickými vzájemně nesrovnatelnými hodnotami zbylých dvou druhů příze. Tato skutečnost je v tabulce graficky znázorněna tím, že u mezních hodnot této funkce pro vl (100) přízi je zvýrazněna jenom polovina čísel. Z výsledků je dále zřejmé, že chybou zatížené mezní hodnoty úhlu β_d jsou vždy menší a že relativní chyba přibližného řešení Schwarzovy konstanty u izotexových česaných přízí pochází z intervalu $\partial \beta_d \in \langle -1,99; -6,30 \rangle \%$ a že roste s hodnotou podílu jemností t/T .

Ze srovnání seskání izotexových česaných přízí vyplývá, že chybou zatížené mezní hodnoty regresních funkcí $\delta(T;Z)$ jsou srovnatelné u vl (100) a ba (100) příze, kdežto chybou nezatížené mezní hodnoty funkcí $\delta[k(D;d);\kappa]$ jsou navzájem nesrovnatelné. Relativní chyba přibližného řešení Schwarzovy konstanty u izotexových česaných přízí pochází z intervalu $\partial \delta \in \langle -3,75; -11,86 \rangle \%$. Jako proměnná veličina se v práci čteněji vyskytuje rozdíl $(1-\delta)$, v textilní teorii pod názvem koeficient seskání. Relativní chyba tohoto koeficientu je u izotexových česaných přízí významně menší a pochází z intervalu $\partial(1-\delta) \in \langle 0,16; 0,32 \rangle \%$. Relativní chyby $\partial \delta$ i $\partial(1-\delta)$ také rostou s hodnotou podílu t/T .

Z rozložení zvýrazněných hodnot v TAB.XIII je dále zřejmé, že vyloučíme-li chybou zatížené mezní hodnoty úhlu stoupání β_d , žádné hodnoty nejsou navzájem srovnatelné u všech druhů porovnávaných izotexových přízí, naproti tomu mezní hodnoty intenzity zpevnění ψ a již komentovaného chybou nezatíženého seskání δ jsou navzájem nesrovnatelné. Na bázi testu RAGP vzájemně srovnatelné mezní hodnoty mají také následující veličiny těchto izotexových druhů přízí : radiální stlačitelnost ε vl (100) a ba (100) přízí, intenzita zákrutu κ , úhel stoupání fiktivního povrchového vlákna β_D a průměr D vl (100) a konvertorové příze. Za zmínku stojí také v tabulce neuvedená skutečnost, že na bázi testu RAGP jsou srovnatelné také hustoty ρ vl (100) a konvertorové příze.

Mezní hodnoty veličin, kterých nabývají radiálně stejnoploché česané příze sledovaných druhů, tudíž příze mezních plošných jemností $\tilde{T}_d$ a $\tilde{T}_h$, jsou prezentovány v tabulce TAB.XIV.

Z tabulky je zřejmé, že tabelované hodnoty sledovaných veličin jsou mezní hodnoty stejných funkcí jako přízí izotexových, ale nezávisle proměnnou veličinou je ekvivalentní jemnost τ jako funkce $\tau(\tilde{T}; \rho)$ s rozdílnými mezními hodnotami τ_d a τ_h pro každý druh příze. Komentář k mezním hodnotám veličin β_D , d , n a zejména β_d izotexových přízí platí také pro příze radiálně stejnoploché, pouze hodnoty jemnosti vláken t byly převzaty z příslušné části tabulky TAB.X.

Z výsledků testování radiálně stejnoplochých přízí je zřejmé, že chybou zatížené mezní hodnoty funkcí $\beta_d[k(\tau); \kappa]$ jsou navzájem nesrovnatelné, kdežto chybou nezatížené mezní hodnoty funkcí $\beta_d[k(D; d); \kappa]$ jsou srovnatelné mezi ba (100) a konvertorovou přízí. Stejně jako u izotexových přízí chybou zatížené mezní hodnoty úhlu β_d jsou vždy menší než hodnoty chybou nezatížené a relativní chyba přibližného řešení Schwarzovy konstanty u radiálně stejnoplochých přízí pochází z intervalu $\partial \beta_d \in \langle -1,79; -6,19 \rangle \%$ a rovněž roste s hodnotou podílu jemností t/T .

Z porovnání seskání radiálně stejnoplochých přízí vyplývá, že jak chybou zatížené, tak chybou nezatížené mezní hodnoty seskání δ jsou navzájem nesrovnatelné. Relativní chyby způsobené přibližným řešením Schwarzovy konstanty pocházejí z intervalů $\partial \delta \in \langle -2,65; -11,86 \rangle \%$ a $\partial(1-\delta) \in \langle 0,13; 0,32 \rangle \%$ a rostou s hodnotou podílu t/T .

TAB.XIV

Mezní hodnoty veličiny/funkce	Druh příze		
	vl (100)	vl/PES (45/55)	ba (100)
$\tilde{T}$ [tēx]	$\langle 12,21 ; 38,17 \rangle$		
$\tau(\tilde{T}; \rho)$ [tex]	$\langle 16 ; 50 \rangle$	$\langle 16,33 ; 51,05 \rangle$	$\langle 18,56 ; 58,02 \rangle$
Z_d / Z_h [m ⁻¹]	551,22/442,08		
$t(\tau; n_0)$ [dtex]	$\langle 3,72 ; 6,76 \rangle$	$\langle 4,22 \rangle$	$\langle 1,77 ; 1,92 \rangle$
$d(t; \rho)$ [μm]	$\langle 19,01 ; 25,63 \rangle$	$\langle 20,04 \rangle$	$\langle 12,18 ; 12,68 \rangle$
$n(\tau; t; \delta)$ [1]	$\langle 42 ; 71 \rangle$	$\langle 38 ; 116 \rangle$	$\langle 103 ; 289 \rangle$
$\kappa(\tau; Z)$ [1]	$\langle 0,3314 ; 0,4606 \rangle$	$\langle 0,3399 ; 0,4665 \rangle$	$\langle 0,3334 ; 0,4632 \rangle$
$\beta_D(\kappa)$ [°]	$\langle 18,34 ; 24,73 \rangle$	$\langle 18,77 ; 25,01 \rangle$	$\langle 18,44 ; 24,87 \rangle$
$\beta_d[k(\tau); \kappa]$ [°]	$\langle 15,68 ; 22,11 \rangle$	$\langle 15,92 ; 22,98 \rangle$	$\langle 16,74 ; 23,60 \rangle$
$\beta_d[k(D; d); \kappa]$ [°]	$\langle 16,64 ; 23,02 \rangle$	$\langle 16,97 ; 23,69 \rangle$	$\langle 17,34 ; 24,02 \rangle$
$D(\tau; Z)$ [mm]	$\langle 0,1914 ; 0,3311 \rangle$	$\langle 0,1963 ; 0,3360 \rangle$	$\langle 0,1921 ; 0,3331 \rangle$
$\delta(\tau; Z) \cdot 10^2$ [%]	$\langle 1,89 ; 3,82 \rangle$	$\langle 1,98 ; 4,17 \rangle$	$\langle 2,17 ; 4,41 \rangle$
$\delta[k(D; d) \cdot 10^2]$ [%]	$\langle 2,13 ; 4,15 \rangle$	$\langle 2,23 ; 4,40 \rangle$	$\langle 2,33 ; 4,52 \rangle$
$\mu(\tau; Z^*) \cdot 10^2$ [%]	$\langle 42,78 ; 44,52 \rangle$	$\langle 40,53 ; 43,07 \rangle$	$\langle 42,35 ; 43,81 \rangle$
$\varepsilon(\tau; Z^*) \cdot 10^2$ [%]	$\langle 12,87 ; 28,21 \rangle$	$\langle 15,21 ; 31,41 \rangle$	$\langle 15,34 ; 31,19 \rangle$
$\psi(\tau; Z^*) \cdot 10^2$ [1]	$\langle 5,72 ; 13,12 \rangle$	$\langle 6,45 ; 14,34 \rangle$	$\langle 6,66 ; 14,24 \rangle$

Z rozložení zvýrazněných hodnot v Tab.XIV dále vyplývá, že mezní hodnoty intenzity zákrutu κ , úhlu stoupání β_D a průměru příze D jsou navzájem srovnatelné u všech druhů radiálně stejnoplochých česaných přízí, zatímco mezní hodnoty intenzity zpevnění ψ a již komentovaného seskání δ jsou navzájem nesrovnatelné. Na bázi testu RAGP vzájemně srovnatelné mezní hodnoty mají dále zaplnění μ vl (100) a ba (100) příze a radiální stlačitelnost ε ba (100) a konvertorové příze.

Protože relativní chyby způsobené přibližným řešením Schwarzovy konstanty jsou poměrně velké, v dalším pro veličiny β_d a δ budeme preferovat funkce nezátížené těmito chybami, jmenovitě $\beta_d[k(D; d); \kappa]$ a $\delta[k(D; d); \kappa]$. Z analýzy výsledků

testování mezních hodnot na bázi testu RAGP vyplývá, že sledované veličiny můžeme rozdělit do dvou skupin.

- $\kappa; \beta_d; D$; u těchto veličin jsou srovnatelné vždy obě dvě mezní hodnoty u dvou, případně všech tří sledovaných druhů přízí. Na základě této skutečnosti a výsledků testování podle tabulky TAB.XIII pro izotexové příze můžeme vyslovit hypotézu, že každá z vyjmenovaných veličin při stejných technologicky ověřených hodnotách jemnosti příze T a zákrutu Z nabývá srovnatelných hodnot pouze u česaných přízí vyrobených z vláken srovnatelné hustoty ρ . Naproti tomu na základě výsledků testování podle tabulky TAB.XIV pro radiálně stejnoploché příze lze vyslovit hypotézu, že každá z vyjmenovaných veličin při stejných technologicky ověřených hodnotách plošné jemnosti $\tilde{T}$ a zákrutu Z nabývá srovnatelných hodnot u všech druhů česaných přízí bez ohledu na rozdílnost geometrických a fyzikálních vlastností vláken, ze kterých jsou vyrobeny. Uvedené skutečnosti potvrzují známou zkušenost, že když se již tak nestalo při zavádění IS soustavy, stále by bylo užitečné do textilní teorie i praxe zavést plošnou jemnost délkových vlákenných útvarů místo jemnosti na bázi délkové hmotnosti.
- $\beta_d; \delta; \mu; \varepsilon; \psi$; u těchto veličin je srovnatelnost mezních hodnot vesměs složených funkcí v porovnání s veličinami první skupiny značně nepravidelná; vyskytuje se srovnatelnost pouze jedné z mezních hodnot a také srovnatelnost mezních hodnot veličiny jedné příze s identickými navzájem nesrovnatelnými hodnotami dalších dvou druhů přízí. Z uvedeného je zřejmé, že výsledky testování veličin této skupiny nelze zobecnit.

S ohledem na výše uvedené konstatování a s ohledem na skutečnost, že konvertorové příze v mezních jemnostech vl(100) příze jsou pouze fiktivní, provedme ještě kvantitativní porovnání reálných přízí všech sledovaných druhů. K tomuto účelu z tabulky TAB.IV byla vybrána konvertorová příze o jemnosti $T = 25 \text{ tex}$, $\tilde{T} = 18,69 \text{ tex}$, vyprádána se zákrutou $Z = 470 \text{ m}^{-1}$. Toto porovnání a testování bylo provedeno analogickým způsobem jako na bázi mezních hodnot veličin, pouze srovnávací podmínky jsou odvozeny od konvertorové příze a pro výpočet hodnot úhlu stoupání β_d a δ byly aplikovány pouze funkce nezátížené přibližným řešením Schwarzovy konstanty.

Výsledky testu hodnot uvedených v tabulce TAB.XV v plném rozsahu potvrdily závěry k testování mezních hodnot veličin zdůvodněně rozdělených do dvou skupin.

TAB.XV

Veličina	Izotexové příze			Radiálně stejnoploché příze		
	vl (100)	vl/PES (45/55)	ba (100)	vl (100)	vl/PES (45/55)	ba (100)
T [tex]	25			—		
$\tilde{T}$ [t̃ex]	—			18,69		
τ [tex]	—			24,48	25	28,41
Z [m ⁻¹]	470					
n_0 [1]	51	60	137	50	60	154
t [dtex]	4,90	4,22	1,82	4,90	4,22	1,84
d [μm]	21,82	20,04	12,35	21,82	20,04	12,41
κ [1]	0,3573	0,3621	0,3365	0,3540	0,3621	0,3557
β_D [°]	19,66	19,91	18,60	19,49	19,91	19,58
β_d [°]	18,01	18,39	17,65	17,83	18,39	18,64
D [mm]	0,2416	0,2452	0,2276	0,2394	0,2452	0,2406
$\delta \cdot 10^2$ [%]	2,51	2,62	2,41	2,46	2,62	2,69
$\mu \cdot 10^2$ [%]	42,03	39,81	40,65	41,92	39,81	41,32
$\varepsilon \cdot 10^2$ [%]	17,05	19,37	17,39	16,71	19,37	19,55
$\psi \cdot 10^2$ [1]	7,27	7,90	7,21	7,11	7,90	8,28

Nyní veličiny charakterizující geometrický stav příze, jmenovitě κ , β_D , β_d a D , označme názvem geometrické veličiny. Veličinám figurujícím jako nezávislé proměnné ve funkci třecí pevnosti, jmenovitě δ , μ , ε a ψ přiřadíme název fyzikální veličiny.

Definujme nyní dílčí efektivnost kroucení DEK na bázi veličiny A daného druhu příze jako podíl hodnoty funkce $A_1(T; Z)$ v bodě o souřadnicích $(T; Z)$, nebo $(\tau; Z)$ a hodnoty funkce $A_2(T; Z)$, kterou nabývá jiný druh příze v bodě o stejných souřadnicích, podle vztahu

$$DEK = \frac{A_1(T; Z)}{A_2(T; Z)} \quad (2.290)$$

přičemž vždycky platí $A_2(T; Z) \geq A_1(T; Z)$; jestliže porovnáváme více než dva druhy přízí, hodnota funkce $A_2(T; Z)$ je největší.

Geometrickou efektivnost kroucení GEK definujeme jako podíl aritmetického průměru dílčích geometrických efektivností $\overline{DEK}_{g1}$ daného druhu příze a aritmetického průměru $\overline{DEK}_{g2}$ jiného druhu příze, krouceného za stejných srovnávacích podmínek, podle vztahu

$$GEK = \frac{\overline{DEK}_{g1}}{\overline{DEK}_{g2}} \quad (2.291a)$$

přičemž vždycky platí $\overline{DEK}_{g2} \geq \overline{DEK}_{g1}$; jestliže porovnáváme více než dva druhy přízí, hodnota aritmetického průměru $\overline{DEK}_{g2}$ je největší.

Analogickým způsobem, tudíž jako podíl aritmetických průměrů dílčích fyzikálních efektivností $\overline{DEK}_{f1}$ a $\overline{DEK}_{f2}$ přízí a jako podíl aritmetických průměrů z dílčích geometrických i fyzikálních efektivností $\overline{DEK}_{fg1}$ a $\overline{DEK}_{fg2}$ přízí, můžeme definovat fyzikální efektivnost kroucení příze FEK a komplexní efektivnost kroucení příze KEK podle vztahů

$$FEK = \frac{\overline{DEK}_{f1}}{\overline{DEK}_{f2}} \quad (2.291b)$$

$$KEK = \frac{\overline{DEK}_{fg1}}{\overline{DEK}_{fg2}} \quad (2.291c)$$

přičemž platí $\overline{DEK}_{f2} \geq \overline{DEK}_{f1}$ a $\overline{DEK}_{fg2} \geq \overline{DEK}_{fg1}$; jestliže porovnáváme více než dva druhy přízí, hodnoty aritmetického průměru dílčích efektivností s indexem 2 jsou největší.

Z tvaru vztahů, jakož i z definovaných podmínek jejich vlastností vyplývá, že efektivnost kroucení je veličina relativní a že nabývá hodnot z intervalu $EK \in (0;1)$.

Nyní použitím hodnot obsažených v tabulce TAB.XV a vztahu (2.290) byly postupně vypočítány dílčí efektivnosti kroucení $DEK(A)$ na bázi sledovaných veličin A , následně hodnoty aritmetického průměru dílčích efektivností $\overline{DEK}_g$, $\overline{DEK}_f$ a $\overline{DEK}_{fg}$ a nakonec aplikací vztahů (2.291a) až (2.291c) výsledné hodnoty efektivností GEK , FEK , a KEK sledovaných druhů česaných přízí izotexových a izoplošných o parametrech $(T;Z)$ a $(\tilde{T};Z)$. Popsaný postup je zřejmý z tabulky TAB.XVI, ve které jsou uvedeny všechny hodnoty postupného výpočtu,

z nichž efektivnosti kroucení *GEK*, *FEK* a *KEK* jsou rovněž testovány na bázi testu RAGP.

TAB.XVI

Dílčí efektivnost kroucení	Izotexové příze			Radiálně stejnoploché příze		
	vl (100)	vl/PES (45/55)	ba (100)	vl (100)	vl/PES (45/55)	ba (100)
<i>DEK</i> (κ)	0,987	1	0,929	0,978	1	0,982
<i>DEK</i> (β_D)	0,987	1	0,934	0,979	1	0,983
<i>DEK</i> (β_d)	0,979	1	0,960	0,957	0,987	1
<i>DEK</i> (D)	0,985	1	0,928	0,976	1	0,981
<i>DEK</i> (δ)	0,958	1	0,920	0,914	0,974	1
<i>DEK</i> (μ)	1	0,947	0,967	1	0,950	0,986
<i>DEK</i> (ε)	0,880	1	0,898	0,855	0,991	1
<i>DEK</i> (ψ)	0,920	1	0,913	0,859	0,954	1
$\overline{DEK}_g$	0,985	1	0,938	0,973	0,997	0,987
$\overline{DEK}_f$	0,940	0,987	0,925	0,907	0,967	0,997
$\overline{DEK}_{fg}$	0,962	0,993	0,931	0,940	0,982	0,992
<i>GEK</i>	0,985	1	0,938	0,976	1	0,990
<i>FEK</i>	0,952	1	0,937	0,910	0,970	1
<i>KEK</i>	0,969	1	0,938	0,948	0,990	1

Na základě výsledků testu a hodnot efektivností kroucení izotexových česaných přízí o jemnosti $T = 25$ tex, při zákrutech $Z = 470 \text{ m}^{-1}$, můžeme konstatovat, že:

- nejnižší efektivnost kroucení vykazuje ba (100) příze
- nejvyšší efektivnost kroucení vykazuje konvertorová příze
- komplexní efektivnost kroucení česaných přízí je nesrovnatelná
- geometrická efektivnost kroucení vl (100) a konvertorové příze a fyzikální efektivnost vl (100) a ba (100) příze jsou srovnatelné.

K efektivnosti kroucení radiálně stejnoplochých česaných přízí o plošné jemnosti $\tilde{T} = 18,69 \text{ tex}$, při zákrutech $Z = 470 \text{ m}^{-1}$, můžeme konstatovat, že:

- nejnižší efektivnost kroucení vykazuje vl (100) příze
- geometrická efektivnost kroucení česaných přízí je srovnatelná
- fyzikální efektivnost kroucení česaných přízí je nesrovnatelná
- komplexní efektivnost kroucení konvertorové a ba (100) příze je srovnatelná.

Nakonec provedme porovnání efektivnosti kroucení izotexových a izoplošných vl (100) a ba (100) česaných přízí při různých srovnávacích podmínkách. K tomuto účelu slouží hodnoty efektivnosti *GEK*, *FEK* a *KEK* obsažené v tabulce TAB.XVII.

TAB.XVII

Srovnávací podmínky	Efektivnost kroucení	Izotexové příze		Izoplošné příze	
		vl (100)	ba (100)	vl (100)	ba (100)
$T = 25 \text{ tex}$ $\tilde{T} = 18,69 \text{ t\~ex}$ $Z = 470 \text{ m}^{-1}$	<i>GEK</i>	1	0,952	0,986	1
	<i>FEK</i>	1	0,984	0,910	1
	<i>KEK</i>	1	0,968	0,948	1
$T = 16 \text{ tex}$ $\tilde{T} = 12,21 \text{ t\~ex}$ $Z = 551,22 \text{ m}^{-1}$	<i>GEK</i>	1	0,951	0,986	1
	<i>FEK</i>	1	0,971	0,906	1
	<i>KEK</i>	1	0,961	0,946	1
$T = 50 \text{ tex}$ $\tilde{T} = 38,17 \text{ t\~ex}$ $Z = 442,08 \text{ m}^{-1}$	<i>GEK</i>	1	0,955	0,985	1
	<i>FEK</i>	1	0,977	0,939	1
	<i>KEK</i>	1	0,966	0,962	1
$T = 38 \text{ tex}$ $\tilde{T} = 25 \text{ t\~ex}$ $Z = 420 \text{ m}^{-1}$	<i>GEK</i>	1	0,954	0,985	1
	<i>FEK</i>	1	0,986	0,914	1
	<i>KEK</i>	1	0,970	0,950	1
	$\overline{GEK}$	1	0,953	0,986	1
	$\overline{FEK}$	1	0,980	0,917	1
	$\overline{KEK}$	1	0,966	0,952	1

V pořadí první trojice hodnot byla vypočítána z efektivností vl (100) a ba (100) přízí obsažených v tabulce TAB.XVI, k výpočtu hodnot druhé a třetí trojice efektivností byly použity mezní hodnoty sledovaných veličin vl (100) a ba (100) přízí obsažených v tabulkách TAB.XIII a TAB.XIV a čtvrtá trojice efektivností byla stanovena na základě neprezentovaných hodnot sledovaných veličin, kterých vl (100) a ba (100) příze nabývají při srovnávacích podmínkách $T = 38 \text{ tex}$, $\tilde{T} = 25 \text{ t\~ex}$ a $Z = 420 \text{ m}^{-1}$.

Z tabulky hodnot je zřejmé, že jestliže vl (100) a ba (100) přízím o stejné jemnosti na bázi délkové hmotnosti udělíme stejný počet zákrutů, přičemž oba dva parametry odpovídají vlněnému standardu, potom vl (100) příze je zakroucena s vyšší efektivností než příze ba (100) a hodnoty identických efektivností kroucení, kterých ba (100) příze

nabývá, jsou srovnatelné na bázi testu RAGP. Pro grafické rozlišení srovnatelných hodnot podle druhu efektivnosti kroucení je v tabulce použito zvýraznění buď všech číslic, nebo dvojic s různou polohou v čísle. Z těchto skutečností vyplývá, že aritmetický průměr identických efektivností kroucení má obecnou vypovídací schopnost.

Z druhé části tabulky vyplývá, že jestliže vl (100) a ba (100) přízím o stejné plošné jemnosti z intervalu $\tilde{T} \in \langle 12,21;38,17 \rangle$ tĕx udělíme stejný počet zákrutů jako párovým izotexovým přízím, potom ba (100) příze je zakroucena s vyšší efektivností než příze vl (100) a hodnoty identických efektivností kroucení, kterých vl (100) příze nabývá při rozdílných srovnávacích podmínkách, jsou srovnatelné na bázi testu RAGP. Protože podíl hodnot aritmetického a geometrického průměru fyzikálních efektivností nabývá mezní hodnoty $\overline{FEK} / \overline{FEK} = 1,000097$, objektivnost testování na bázi testu RAGP byla v tomto případě konfrontována se statistickým testováním hodnoty výběrového průměru $\overline{FEK}$. Při počtu hodnot $n = 4$, hodnotách výběrového průměru $\overline{FEK} = 0,917$, směrodatné odchylky $s = 0,0149$ a kvantilu Studentova rozdělení $t_{(3,0,05)} = 3,182$, je výběrová chyba $\partial \overline{FEK} = 2,98 \%$. Protože hodnota výběrové chyby je vyhovující pro posouzení objektivnosti testu RAGP, i zde můžeme konstatovat, že aritmetický průměr identických efektivností kroucení má obecnou vypovídací schopnost také pro radiálně stejnoploché, zkráceným názvem izoplošné příze.

Na základě průměrných hodnot složek efektivnosti kroucení $\overline{GEK}$, $\overline{FEK}$ a $\overline{KEK}$, uvedených na konci tabulky TAB. XVII, pro vl (100) a ba (100) česané příze můžeme nyní vyslovit následující obecné závěry:

- jestliže vl (100) a ba (100) česaným přízím o stejné jemnosti na bázi délkové hmotnosti udělíme stejný počet zákrutů, všechny složky efektivnosti kroucení jsou u vl (100) příze větší než u příze ba (100), pouze jejich fyzikální efektivnost je srovnatelná na bázi testu RAGP;
- jestliže vl (100) a ba (100) přízím o stejné plošné jemnosti udělíme stejný počet zákrutů, všechny složky efektivnosti kroucení jsou u ba (100) příze větší než u příze vl (100), pouze jejich geometrická efektivnost je srovnatelná na bázi testu RAGP;
- významně největší rozdíl v neprospěch vl (100) příze je ve fyzikální efektivnosti kroucení izoplošných vl (100) a ba (100) česaných přízí;
- objektivní, rozdílnou hustotou vláken nezatížené porovnání izoplošných vl (100) a ba (100) česaných přízí vyznělo ve prospěch ba (100) příze a tudíž implicitně také ve prospěch spřadatelnosti bavlny před vlnou.

2.6 Pevnost příze

Pravděpodobně složitost problematiky způsobila, že doposud nebyl vypracován dostatečně obecný a uspokojivě přesný exaktní model pevnosti příze. Jako náhradní řešení mnozí autoři, např. [9] až [12], pro výpočet pevnosti příze navrhli empirické vztahy. Společným charakteristickým znakem všech těchto vztahů je skutečnost, že měrná pevnost příze je definována jako násobek měrné pevnosti vlákna a faktorů počtu vláken v průřezu příze, jejich délky a intenzity zakroucení, anebo pouze úhlu sklonu povrchových vláken příze. Z uvedeného vyplývá, že všichni citovaní autoři vychází z předpokladu, že primárním zdrojem pevnosti příze je pevnost vláken. Aby platil tento předpoklad, při přetržení příze by se musela přetrhnout všechna vlákna v jejím průřezu. Jelikož každá příze je vyrobena z vláken konečné a nestejně délky, všechna vlákna se přetrhnou pouze při osovém namáhání, případně měření pevnosti, při takové upínací délce, která je menší než zapředená délka nejkratších vláken. V reálném případě, např. při soukání, tkaní, pletení, nebo při měření standardní pevnosti, jsou všechny druhy příze osově namáhány vesměs při větších než výše předpokládaných upínacích délkách. Mezi přadláky se traduje, že při přetržení příze se přibližně polovina vláken přetrhne a polovina proklouzne. Z uvedených důvodů se pokusme vypracovat model pevnosti příze s použitím reálnějších než komentovaných předpokladů.

2.6.1 Model třecí pevnosti

Nechť modelová příze, zakroucená za podmínek konstantního napětí, tudíž s možností seskání δ , je upředena z absolutně ojednocených a rovných vláken konstantní délky l , průměru d a počtu n v každém průřezu a po délce vykazuje konstantní poměrné radiální stlačení ε . V důsledku radiálního stlačování příze při zakrucování dochází ke vzájemným kontaktům a k vyvození kontaktního tlaku mezi sousedními vlákny; tento tlak můžeme definovat vztahem

$$p = E(\varepsilon)\varepsilon \quad (2.292)$$

kde $E(\varepsilon)$ je nelineární modul radiální stlačitelnosti, ε poměrné radiální stlačení příze.

Zavedeme-li pro plochu kontaktu symbol λ , pro normálovou sílu, působící v kolmém směru na kontaktní plochu p_n , můžeme psát

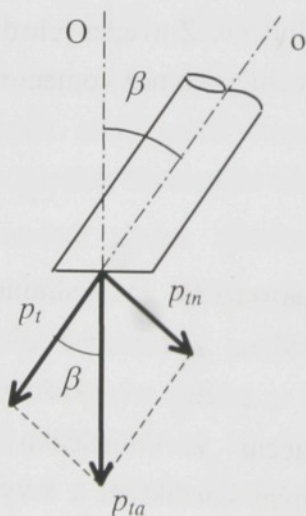
$$p_n = p\lambda \quad (2.293)$$

Sílu, která musí působit ve směru osy vlákna, aby došlo k jeho proklouznutí v místě kontaktu se sousedním vláknem, definujeme jako elementární třecí sílu se symbolem p_t . Jestliže pro součinitel statického mezivláknenného tření použijeme symbol f , velikost elementární třecí síly je dána součinem

$$p_t = p_n \cdot f \quad (2.294)$$

Jestliže pevnost vlákna je menší než elementární třecí síla podle uvedeného vztahu, výsledkem jejího působení není proklouznutí, ale přetržení vlákna. Při axiálním zatížení kdy oba dva konce příze jsou v sevření, k jejímu prodloužení dochází při konstantním počtu ovinů vláken v upnuté délce příze.

V důsledku tohoto konstatování hmotné body proklouzavajícího vlákna se posouvají po přímkách rovnoběžných s osou příze. Na základě těchto skutečností vnější axiální sílu, která musí na vlákno působit ve směru osy příze, aby v místě kontaktu se sousedním vláknem došlo k jeho proklouznutí, definujeme jako elementární třecí pevnost příze se symbolem p_{ta} . Ke stanovení velikosti této síly slouží obr. 3.



Obr. 3 Rozklad tahové síly působící na vlákno v přízi

Na obrázku je znázorněn diferenciální úsek vlákna s obecnou radiální polohou v přízi. Necht' na celé délce tohoto vlákna se nachází pouze jeden kontakt se sousedním vláknem. Úhel β sklonu diferenciálního úseku vlákna je vymezen sklonem jeho osy o vzhledem k ose příze O . Vnější axiální síla p_{ta} , působící v ose radiálního řezu vláknem rovinou kolmou na osu příze, je rozložena na složku p_t rovnoběžnou s osou vlákna a na složku p_{tm} , která je na tuto osu kolmá.

Analogicky s rozkladem sil podle obrázku posuv hmotných bodů vlákna ve směru působení vnější axiální síly p_{ta} lze interpretovat jako parciální prokluz ve směru osy vlákna a následný parciální posuv ve směru kolmém na tuto osu. Z rovnoběžníku sil podle obrázku potom vyplývá, že elementární třecí pevnost má velikost

$$p_{ta} = \frac{P_t}{\cos \beta} \quad (2.295)$$

Z modelové příze vyjmeme nyní úsek o délce $l(1 - \delta)$ a objemu V . Tento úsek definujeme jako modelový úsek příze, pro který je charakteristické, že jeho délka je nejkratší upínací délkou modelové příze, při které žádné vlákno svými konci nedosahuje do sevření v čelistech trhačského přístroje. Necht' v modelovém úseku je N mezivláknenných kontaktů. Potom třecí pevnost příze se symbolem P_t je rovna součtu elementárních třecích pevností přes všechny kontakty. Ve smyslu uvedeného tedy platí

$$P_t = \sum_{(N)} p_{ta} \quad (2.296)$$

Jestliže platí modelové předpoklady absolutně ojednocených vláken bez vzájemných ovinů a slepenců a o jejich konstantním kruhovém průřezu, lze také zavést předpoklad konstantní plochy kontaktů λ . Potom jedinou nekonstantní veličinou v modelu je úhel stoupání β prostorových ovinů vláken modelového svazku, který je funkcí radiální polohy vlákna v přízi. Provedeme-li nyní postupné dosazování ze vztahů (2.292) až (2.295), pro třecí pevnost obdržíme

$$P_t = E(\varepsilon) \varepsilon f \lambda \sum_{(N)} \frac{1}{\cos \beta} \quad (2.297)$$

Sumaci ve vztahu (2.297) nahradíme přibližným řešením

$$\sum_{(N)} \frac{1}{\cos \beta} = \frac{N}{\cos \beta} \quad (2.298)$$

Praktickým výpočtem pro deset náhodně vybraných hodnot z intervalu $\cos \beta \in \langle 0,9; 1 \rangle$, což odpovídá intervalu hodnot reálné vl (100) přízi, bylo prokázáno, že chyba uvedeného přibližného řešení je zanedbatelná (– 0,08 %).

Počet kontaktů mezi vlákny je funkcí vlastností vláken a vlastností vytvořené struktury. Analýzu těchto závislostí provedl Van Wyk [13]. Z provedené analýzy vyplynulo, že počet kontaktů N mezi vlákny idealizovaného vlákenného útvaru

o objemu V je funkcí počtu n rovných, válcových vláken o stejné délce l a průměru d podle vztahu

$$N = \frac{I n^2 l^2 d}{V} \quad (2.299)$$

kde I je charakteristika směrového uspořádání vláken, jejíž hodnoty jsou z intervalu $I \in (0; 1)$. Modelová příze je ve smyslu přijatých předpokladů o geometrických charakteristikách vláken také idealizovaný vlákenný útvar a tudíž vztah (2.299) můžeme aplikovat v modelu její pevnosti.

Počet vláken n v nezakrouceném modelovém úseku příze o délce l lze vyjádřit jako podíl jeho jemnosti T_0 a jemnosti t vláken. Zakroucením se délka modelového úseku příze zkrátí na délku $l(1-\delta)$, což při zachování jeho hmotnosti způsobuje změnu jemnosti na hodnotu T podle vztahu (1.14). Po zohlednění těchto skutečností počet vláken v modelovém úseku příze je funkcí

$$n = (1-\delta) \frac{T}{t} \quad (2.300)$$

Průměr d elementárního vlákna vyjádřený z definičního vztahu pro jemnost je funkcí jeho jemnosti t a hustoty ρ podle vztahu (1.3).

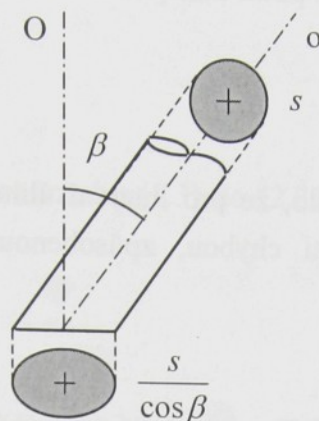
Objem modelového úseku příze o délce $l(1-\delta)$ a se zaplněním μ , vyjádřený jako součin plochy jeho průřezu a délky, je funkcí

$$V = \frac{\pi d^2 n l (1-\delta)}{4\mu} \quad (2.301)$$

Dosadíme-li nyní do vztahu (2.299) za n z (2.300), za V z (2.301) a zohledníme-li vztah (1.3), pro počet kontaktů N v modelovém úseku příze platí

$$N = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{I \sqrt{\rho} T l \mu}{t^{1,5}} \quad (2.302)$$

Úhel stoupání β prostorových ovinů elementárních vláken je funkcí vytvořené struktury radiální polohy vlákna v modelové přízi a také intenzity jeho zakroucení. Z uvedeného vyplývá, že i střední hodnotu kosinu úhlu β ve vztahu (2.298) je třeba vyjádřit jako funkci geometrické veličiny, která je závislá na intenzitě zakroucení. Za tímto účelem provedme analýzu některých zákonitostí radiální struktury modelové příze s pomocí obr.4.



Obr. 4 Radiální řez příze

Na tomto obrázku je znázorněn diferenciální úsek vlákna, jehož osa o svírá s osou O příze úhel β . Z obrázku je patrné, že do roviny radiálního řezu příze se promítá $1/\cos \beta$ násobek substanční plochy s vlákna. Jestliže zohledníme modelový předpoklad o konstantním průměru d , tudíž i konstantní ploše průřezu vlákna s , pro substanční plochu modelové příze S potom platí

$$S = s \sum_{(n)} \frac{1}{\cos \beta} \quad (2.303)$$

Jestliže opět použijeme přibližné řešení jako ve vztahu (2.298), pro sumaci potom platí

$$\sum_{(n)} \frac{1}{\cos \beta} = \frac{n}{\cos \beta} \quad (2.304)$$

Aplikací přibližného řešení podle (2.304) pro jemnost modelové příze jako součinu její substanční plochy S a hustoty vláken ρ obdržíme

$$T = \frac{ns\rho}{\cos \beta} \quad (2.305)$$

Pro jemnost T_0 nezakroucené modelové příze $\overline{\cos \beta} = 1$. Na základě této skutečnosti pro podíl jemností modelové příze před a po zakroucení svazku platí

$$\frac{T_0}{T} = \overline{\cos \beta} \quad (2.306)$$

Ve smyslu vztahu (1.14) pro tento podíl také platí

$$\frac{T_0}{T} = 1 - \delta$$

Z uvedené analýzy vyplynulo, že pro interval úhlu stoupání prostorových ovinů reálných přízí se zanedbatelnou chybou, způsobenou přibližným řešením vztahu (2.304), platí rovnost

$$\overline{\cos \beta} = 1 - \delta \quad (2.307)$$

Ze vztahu (2.307) vyplývá, že střední kosinus úhlu stoupání lze podle ideálního šroubovicového modelu interpretovat jako podíl délky $l(1 - \delta)$ osového vlákna a délky l vlákna na neutrálním poloměru, kde je délka vlákna konstantní.

Jestliže nyní dosadíme za N z (2.302) a za $\overline{\cos \beta}$ z (2.307) do (2.298) a následně do (2.297), po úpravě pro třecí pevnost modelového úseku příze obdržíme

$$P_t = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{I E(\varepsilon) f \lambda \sqrt{\rho} T l}{t^{1.5}} \frac{\varepsilon \mu}{1 - \delta} \quad (2.308)$$

Protože modelová příze je na základě přijatých idealizujících předpokladů po délce geometricky i fyzikálně absolutně homogenní, vztah (2.308) platí pro každou její délku, pro kterou platí $L \geq (1 - \delta)l$.

Modul radiální stlačitelnosti $E(\varepsilon)$ ve vztahu (2.292) má pro stlačování svazku vláken teoretické opodstatnění, ale jako fyzikální veličina v mechanice poddajných těles nebyl zaveden. Vyslovme proto hypotézu, že při radiálně stlačovaném svazku vláken je mezi vlákny vyvozen tím větší kontaktní tlak, čím jsou elementární vlákna tužší v ohybu. Jestliže platí tato hypotéza, potom konstantou úměrností mezi poměrným radiálním stlačením svazku a vyvozeným kontaktním tlakem mezi vlákny je pouze ohybová tuhost vlákna. Podle [14] ohybová tuhost vlákna je rovna součinu modulu pružnosti E a osového momentu setrvačnosti J plochy jeho průřezu. Ve smyslu uvedeného tedy platí

$$E(\varepsilon) = k E J \quad (2.309)$$

kde k je rozměrová konstanta. Moment setrvačnosti J je funkcí tvaru průřezu.

Podle [14] pro kruhový průřez platí

$$J = \frac{\pi d^4}{64} \quad (2.310)$$

Jestliže za d dosadíme ze vztahu (1.3) do (2.310) a následně za J do (2.309), po úpravě obdržíme

$$E(\varepsilon) = \frac{k E t^2}{4 \pi \rho^2} \quad (2.311)$$

Po dosazení za modul radiální stlačitelnosti z (2.311) do (2.308) a po další úpravě pro třecí pevnost modelové příze platí

$$P_t = \frac{k}{2\pi^{3/2}} \frac{I E f \lambda T \sqrt{t} l}{\rho^{3/2}} \frac{\varepsilon \mu}{1 - \delta} \quad (2.312)$$

Z veličin obsažených ve vztahu (2.312) pouze poměrná radiální stlačitelnost ε , zaplnění μ a seskání δ jsou funkcí intenzity zakroucení. Vyčleněný součin těchto veličin označme symbolem ψ a názvem intenzita zpevnění, tudíž

$$\psi = \frac{\varepsilon \mu}{1 - \delta} \quad (2.313)$$

Reálná přádní surovina není homogenní v jemnosti ani v délce vláken. Z toho důvodu pro reálnou přízi zavedme střední hodnoty těchto veličin. Pro měrnou třecí pevnost F_t příze, jako podílu třecí pevnosti P_t a jemnosti T , podle definičního vztahu potom platí

$$F_t = \frac{k}{2\pi^{3/2}} \frac{I E f \lambda \sqrt{\bar{t}} \bar{l}}{\rho^{3/2}} \psi \quad (2.314)$$

Veličina I ve vztahu (2.314) je konstantou pro stejnou technologii výroby příze, fyzikální veličiny ρ , E a f jsou konstantní pro stejný druh a stejnou povrchovou úpravu vláken. Vyjmenované veličiny spolu s ostatními konstantami ve vztahu (2.314), včetně neidentifikovatelné střední plochy kontaktů λ , zahrňme do souhrnné konstanty K_ρ , platné pouze pro stejný druh příze podle technologie předení a druhu a povrchové úpravy vláken, tedy

$$K_\rho = \frac{k I E f \lambda}{2(\pi \rho)^{3/2}} \quad (2.315)$$

Pro měrnou třecí pevnost příze potom platí jednoduchý vztah

$$F_t = K_p \sqrt{\bar{t}} \bar{l} \psi \quad (2.316)$$

Ze vztahů (2.313), (2.315) a (2.316) vyplývá, že měrná třecí pevnost příze je funkcí souhrnné konstanty K_p , ve které je obsažen vliv technologie předení, fyzikálních vlastností vláken a plochy kontaktů, tudíž tato konstanta má stejnou hodnotu pouze pro příze ze stejného druhu nebo směsi vláken se stejnou povrchovou úpravou a upředené stejnou technologií. Měrná třecí pevnost je dále funkcí součinu geometrických charakteristik vláken $\sqrt{\bar{t}} \bar{l}$ a intenzity zpevnění ψ , ve které je obsažen vliv délkové a radiální deformace a zaplnění příze. Z vyjmenovaných veličin ve vztahu (2.316) jenom intenzita zpevnění je funkcí jemnosti a zákrutů příze.

Jestliže provedeme analýzu podmínek, za kterých z neidentických vláken lze vyrobit příze o stejné měrné třecí pevnosti, obdržíme tři možné alternativy.

A) Z vláken rozdílného druhu, povrchové úpravy a geometrie lze vyrobit příze rozdílnou technologií předení ale o stejné měrné třecí pevnosti $F_{t1} = F_{t2}$, jestliže podíl jejich intenzit zpevnění je rovný

$$\frac{\psi_1}{\psi_2} = \frac{K_{p2} \sqrt{\bar{t}_2} \bar{l}_2}{K_{p1} \sqrt{\bar{t}_1} \bar{l}_2} \quad (2.317)$$

B) Jestliže $K_{p1} = K_{p2}$, tudíž z vláken stejného druhu, povrchové úpravy a stejnou technologií předení lze vyrobit příze o stejné měrné třecí pevnosti za podmínek, že podíl jejich intenzit zpevnění je rovný

$$\frac{\psi_1}{\psi_2} = \frac{\sqrt{\bar{t}_2} \bar{l}_2}{\sqrt{\bar{t}_1} \bar{l}_2} \quad (2.318)$$

C) Jestliže $K_{p1} = K_{p2}$ a $\psi_1 = \psi_2$, tudíž z vláken stejného druhu, povrchové úpravy, stejnou technologií předení a při stejné intenzitě zpevnění lze vyrobit příze o stejné měrné třecí pevnosti, jestliže vlákna splňují podmínku rovnosti součinu geometrických charakteristik

$$\sqrt{\bar{t}_1} \bar{l}_1 = \sqrt{\bar{t}_2} \bar{l}_2 \quad (2.319)$$

Tuto podmínku jako zvláštní případ splňuje také identická vlákenná surovina, pro kterou platí $\bar{t}_1 = \bar{t}_2$ a $\bar{l}_1 = \bar{l}_2$. Abychom podmínku (2.319) mohli správně

geometricky interpretovat, provedme úpravu součinu $\sqrt{t}l$. Jestliže ze vztahu (1.3) vyjádříme jemnost jako funkci $t(d;\rho)$ a dosadíme, po úpravě obdržíme

$$\sqrt{t}l = \sqrt{\frac{\pi\rho}{4}}dl \quad (2.320)$$

Jestliže budeme aplikovat tuto úpravu, podmínka rovnosti součinů geometrických charakteristik (2.319) přejde na tvar

$$\bar{d}_1 \bar{l}_1 = \bar{d}_2 \bar{l}_2 \quad (2.321)$$

Protože násobek průměru a délky vlákna je plocha axiálního průřezu, vlákna, která splňují podmínku (2.321), definujeme jako axiálně stejnoplochá.

Podmínka identické vlákenné suroviny je splněna při výrobě vl (100) česané příze a směsové česané příze manipulace vl/PES (45/55) tak zvanou konvertorovou technologií. Tyto příze se vyrábí v omezeném rozsahu jemností ze stejné přádní směsi.

Axiálně stejnoplochou přádní surovinu by bylo možné vyrábět z chemických vláken, protože stříž z těchto vláken lze vyrobit teoreticky na míru. Praktickou aplikaci tohoto záměru ovšem omezují některé technické a technologické faktory. Technologickým omezujícím faktorem je skutečnost, že standardní stříže z chemických vláken se vyrábí ve dvou délkách, závislých na technologii předení, jmenovitě ve vlnářské a bavlnářské délce stříhu. Technickým omezujícím faktorem je konstrukce průtažného ústrojí přádelnických strojů v obou technologiích předení. Možnost změny délky průtažného pole u současných strojů je relativně malá. Z uvedeného tedy vyplývá, že možnost výroby axiálně stejnoplochých stříží z chemických vláken je spíše teoreticky žádoucí, než prakticky uskutečnitelná.

U přírodních vláken živočišného i rostlinného původu, z nichž hlavními textilními reprezentanty jsou vlna a bavlna, existuje těsná statistická závislost mezi jejich délkou a příčnými rozměry. Podíl těchto dvou geometrických veličin byl v textilní literatuře [15] definován jako štiřlost, nebo štiřlostní poměr. Pro vlákna kruhového průřezu mezi délkou a průměrem potom platí vztah

$$l = Cd \quad (2.322)$$

kde C je štiřlost vlákna. Podle [15] štiřlost vlny, jejíž průřez můžeme považovat za kruhový, má hodnotu $C = 3000$. Stejní autoři štiřlost bavlny, která má průřez ledvinového tvaru, definovali jako podíl délky a šířky a uvádějí hodnotu $C = 1500$. Jestliže přijmeme hypotézu, že tloušťka, čili menší příčný rozměr bavlny, je buď konstantní, nebo v kladné korelaci se šířkou, potom vztah (2.322) platí také pro bavlnu,

ale d je ekvivalentní průměr, čili průměr stejnoploché kružnice. Protože u vlny i bavlny je konstantní podíl délky a průměru vláken, nemůže být konstantní také jejich součin, tudíž vlněná ani bavlněná vlákna nejsou axiálně stejnoplochá.

Jestliže za d dosadíme ze vztahu (1.3) do (2.322) a následně za l do součinu geometrických charakteristik vláken, po úpravě obdržíme

$$\sqrt{t} l = \frac{2C}{\sqrt{\pi\rho}} t \quad (2.323)$$

Podmínka rovnosti součinů geometrických charakteristik (2.319) pro vlnu a bavlnu po aplikaci vztahu (2.323) přejde na tvar

$$\bar{l}_1 = \bar{l}_2 \quad (2.324)$$

Vlny a bavlny všech proveniencí se třídí do jakostních tříd, jak uvádí např. autoři [16] a [17]. Hlavním znakem každé jakostní třídy je průměrná jemnost vláken. Protože počet jakostních tříd je omezený, např. u česané vlny dosahuje počtu šesti a u česané bavlny sedmi tříd, z každé se vypřádá interval jemností standardních česaných přízí. Na základě uvedeného a ve smyslu podmínky (2.324) můžeme konstatovat, že z vlněných a bavlněných vláken stejného druhu, povrchové úpravy, stejnou technologií předení a při stejné intenzitě zpevnění lze vyrobit příze o stejné měrné třecí pevnosti pouze ze stejné jakostní třídy.

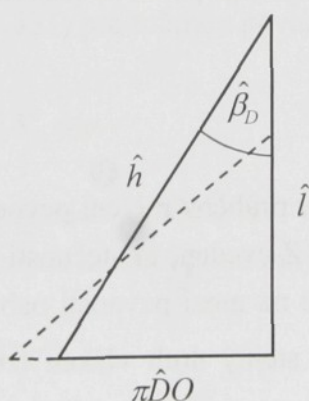
Z provedené analýzy vyplynulo, že příze se stejnou měrnou třecí pevností lze vyrobit buď s projektovanou intenzitou zpevnění ve smyslu vztahů (2.317) a (2.318), nebo při konstantní intenzitě zpevnění a stejnou technologií předení buď z identické vlákenné suroviny, nebo ze stejné jakostní třídy vlněných a bavlněných vláken.

Z modelu vyplynulo, že z veličin, které se podílí na tvorbě třecí pevnosti, intenzitou zakroucení lze ovlivnit pouze veličiny charakterizující radiální a axiální deformaci příze, jmenovitě ε , μ a δ . Hodnoty těchto deformačních charakteristik jsou konstantní pouze v osově nezatíženém stavu, nebo při zatížení pouze do velikosti síly potřebné k napřímění osy příze. Každá větší osová síla v důsledku svěrného účinku v radiálním směru a prodloužení v osovém směru způsobuje změnu původních hodnot deformačních charakteristik příze a tudíž také změnu její pevnosti. Grafické zobrazení průběhu této změny v závislosti na poměrném prodloužení bylo v textilní literatuře definováno jako pracovní křivka. Z uvedených skutečností tudíž vyplývá, že třecí pevnost příze je pouze latentní a neměřitelná.

2.6.2 Model pevnosti příze

Pevnost příze, jakož i ostatních délkových vlákenných útvarů, byla deklarována jako síla potřebná na její přetržení. Průběh i výsledky měření pevnosti na trhačím zařízení ovšem ovlivňuje řada faktorů, zejména způsob upnutí příze (jednoduché nebo ve smyčce), upínací délka a rychlost zatěžování. Standardní pevnost příze je měřena za přesně definovaných podmínek, jmenovitě: jednoduché upnutí, upínací délka $L = 500 \text{ mm}$ a doba do přetrhu $t = 20 \text{ sec}$. Velikost naměřené pevnosti ovlivňují všechny vyjmenované faktory, pro její modelování je relevantní pouze způsob upnutí příze. V této kapitole je popsán model pevnosti příze měřené při jednoduchém upnutí.

Modelovou přízi nyní podrobme měření standardní pevnosti. Pro pevnost příze ve smyslu jejího deklarování je určující její geometrický stav bezprostředně před přetrhem, který budeme označovat jako stav na mezi pevnosti. K jakým geometrickým změnám u měřené příze došlo účinkem tahové síly, ilustrujme na modelovém úseku příze. K tomuto účelu slouží obrázek 5, na kterém je plně znázorněno rozvinutí O ovinů modelového úseku příze na mezi pevnosti, čárkováně je znázorněn výchozí stav, kdy modelová příze je zatížena pouze předpětím, čili silou potřebnou na napřímení její osy. Pro obecnou geometrickou veličinu A na mezi pevnosti je použit symbol $\hat{A}$.



Obr. 5 Rozvinutý modelový úsek příze na mezi pevnosti

Z obrázku je patrné, že působením tahové síly a jejího svěrného účinku došlo ke změně průměru a délky, čili k radiální a axiální deformaci modelového úseku příze. Radiální deformaci na mezi pevnosti charakterizuje poměrné radiální stlačení $\hat{\varepsilon}$ a zaplnění $\hat{\mu}$. Axiální deformaci na mezi pevnosti charakterizuje poměrné prodloužení se symbolem a , pro které v textilní teorii i praxi zdomácněl název tažnost.

Zohledníme-li, že vstupní délka modelového úseku příze je $l(1-\delta)$ a jeho délka na mezi pevnosti je $\hat{l}$, pro tažnost platí definiční vztah

$$a = \frac{\hat{l} - l(1-\delta)}{l(1-\delta)} \quad (2.325)$$

Pro délku $\hat{l}$ modelového úseku příze na mezi pevnosti ze vztahu (2.325) po úpravě obdržíme

$$\hat{l} = l(1-\delta)(1+a) \quad (2.326)$$

Na základě analogie se vztahem (2.307) a zejména s jeho interpretací, pro střední kosinus úhlu stoupání vlákných ovinů na mezi pevnosti, jako podílu délky osového vlákna $\hat{l}$ a délky vlákna l na neutrálním poloměru, platí

$$\overline{\cos \beta} = (1-\delta)(1+a) \quad (2.327)$$

Z analogie s definičním vztahem (2.313) a po zohlednění vztahu (2.327) pro intenzitu zpevnění modelové příze na mezi pevnosti můžeme psát

$$\hat{\psi} = \frac{\hat{\varepsilon} \hat{\mu}}{(1-\delta)(1+a)} \quad (2.328)$$

Účinkem rostoucí tahové síly v průběhu měření pevnosti příze některá elementární vlákna proklouzávají, jiná se trhají. Z uvedené skutečnosti vyplývá, že vlákna modelové příze o konstantní jemnosti a délce na mezi pevnosti nabývají průměrných hodnot $\bar{l}$ a $\bar{l}$. Pro součin $\sqrt{l} l$, který pro stejný druh vláken lze interpretovat jako násobek plochy jejich axiálního řezu, zavedme název rozměrový faktor vláken se symbolem ϕ , tudíž

$$\phi = \sqrt{l} l \quad (2.329)$$

Pro rozměrový faktor vláken modelové příze na mezi pevnosti z důvodů již uvedených potom platí

$$\hat{\phi} = \sqrt{\hat{l}} \bar{l} \quad (2.330)$$

Z analogie s modelem třecí pevnosti, jmenovitě vztahem (2.316), pro měrnou pevnost modelové příze můžeme psát

$$F = K_{\rho} \hat{\phi} \hat{\psi} \quad (2.331)$$

Z dlouholetých praktických zkušeností je známo, že z přízí, které se liší pouze délkou vláken, nejpevnější je vypředena z vláken nejdelších a z přízí, které se liší pouze počtem zákrutů, nejpevnější je s největším zákrutem, pokud tento není větší než zákrut kritický. Tyto praktické zkušenosti nás opravňují vyslovit hypotézu, že rozměrový faktor vláken na mezi pevnosti $\hat{\phi}$ je funkcí výrobního rozměrového faktoru ϕ a intenzita zpevnění na mezi pevnosti $\hat{\psi}$ je funkcí výrobní intenzity zpevnění ψ . Necht' tyto funkční závislosti jsou nelineární, v matematickém vyjádření

$$\hat{\phi} = f_1(\phi) \phi \quad (2.332)$$

$$\hat{\psi} = f_2(\psi) \psi \quad (2.333)$$

kde $f_1(\phi)$ a $f_2(\psi)$ jsou nelineární moduly funkcí (2.332) a (2.333).

Po dosazení za $\hat{\phi}$ a $\hat{\psi}$ do (2.331) pro měrnou pevnost obdržíme

$$F = f_1(\phi) f_2(\psi) K_{\rho} \phi \psi \quad (2.334)$$

Necht' nyní součin nelineárních modulů ve vztahu (2.334) je funkcí součinu rozměrové konstanty u a obecných mocnin proměnných ve tvaru

$$f_1(\phi) f_2(\psi) = u \phi^v \psi^w \quad (2.335)$$

Jestliže za tento součin dosadíme do (2.334) a provedeme matematickou úpravu na společného mocnitele, pro měrnou pevnost modelové příze obdržíme funkční závislost

$$F = u K_{\rho} \left(\phi^{\frac{1+v}{1+w}} \psi \right)^{1+w} \quad (2.336)$$

Zavedme nyní substituci

$$u K_{\rho} = p_1 \quad (2.337)$$

$$\frac{1+v}{1+w} = g \quad (2.338)$$

$$1+v = p_2 \quad (2.339)$$

Z analogie s exponentem kroucení q u koeficientu zákrutu pro exponent g zavedme název exponent zpevnění.

Ve zvláštním případě, kdy $v = 0$ a $w = 0$ a tudíž $g = 1$ a $p_2 = 1$, měrná pevnost modelové příze je rovna násobku měrné třecí pevnosti

$$F = u F_t \quad (2.340)$$

V obecném případě, kdy exponenty v a w nabývají nenulových hodnot, funkce (2.336) po dosazení substitučních symbolů nabývá tvaru

$$F = p_1 (\phi^g \psi)^{p_2} \quad (2.341)$$

Nyní využijme analogie tvaru funkce (2.341) a funkce (2.11) pro intenzitu zákrutu a za součin proměnných v závorce zavedme název koeficient pevnosti se symbolem χ , tudíž

$$\chi = \phi^g \psi \quad (2.342)$$

Po dosazení do (2.341) pro měrnou pevnost modelové příze jako funkci jediné proměnné obdržíme

$$F = p_1 \chi^{p_2} \quad (2.343)$$

Ze substitučního vztahu (2.337) je zřejmé, že p_1 je souhrnná konstanta, ve které je obsažena také konstanta K_{ρ} , platná pouze pro stejný druh příze. Z této skutečnosti vyplývá, že i modelová funkce (2.343) platí obecně pouze z kvalitativního hlediska.

Reálná příze na rozdíl od modelové není homogenní v jemnosti ani v délce a počtu vláken v průřezu. V důsledku toho je nehomogenní také v rozdělení zákrutu a intenzity zpevnění po délce. Platnost modelu pevnosti, odvozeného pro zidealizovanou modelovou přízi, můžeme aplikovat i na reálnou staplovou přízi, tedy s průměrnými hodnotami $\bar{l}$ a $\bar{l}$, ale z uvedených důvodů s určitými odlišnostmi. Zatímco minimální

upínací délka je u modelové příze $l(1-\delta)$, u reálné příze je rovna zapředené délce nejdelšího vlákna. Místo přetrhu u modelové příze má náhodný charakter a proto naměřená pevnost není funkcí upínací délky. Naproti tomu reálná příze se trhá vždy v nejslabším místě a z toho důvodu naměřená pevnost je průměrná hodnota nejmenších pevností. Protože pravděpodobnost výskytu slabého místa je tím větší, čím je větší upínací délka, i průměrná hodnota pevnosti reálné příze je funkcí upínací délky. Tyto skutečnosti je třeba mít na zřeteli při aplikaci teoretického modelu na reálnou přízi a vedle jejího druhu je třeba specifikovat také podmínky při měření pevnosti.

Aby bylo možné srovnání poměrné třecí a poměrné pevnosti příze, funkční závislost (2.341) s použitím substituce (2.329) upravme na funkci původních proměnných, jmenovitě $F(\bar{l}; \bar{l}; \psi)$; po matematické úpravě obdržíme

$$F = p_1 \left(\sqrt{\bar{l}} \bar{l} \right)^{g_{p_1}} \psi^{p_1} \quad (2.344)$$

Jestliže nyní provedeme analýzu podmínek, za kterých lze vyrobit příze o stejné měrné pevnosti, analogicky jako u třecí pevnosti obdržíme tři možné alternativy.

A) Z vláken rozdílného druhu a povrchové úpravy a rozdílnou technologií předení lze vyrobit příze o stejné měrné pevnosti $F_1 = F_2$, jestliže platí rovnost

$$p_{11} \left(\sqrt{\bar{l}_1} \bar{l}_1 \right)^{g_{1p_{11}}} \psi_1^{p_{11}} = p_{12} \left(\sqrt{\bar{l}_2} \bar{l}_2 \right)^{g_{2p_{12}}} \psi_2^{p_{12}} \quad (2.345)$$

B) Z vláken stejného druhu, povrchové úpravy a stejnou technologií předení lze vyrobit příze o stejné měrné pevnosti za podmínek, že poměr jejich intenzit zpevnění je rovný

$$\frac{\psi_1}{\psi_2} = \left(\frac{\sqrt{\bar{l}_2} \bar{l}_2}{\sqrt{\bar{l}_1} \bar{l}_1} \right)^g \quad (2.346)$$

C) Z vláken stejného druhu a povrchové úpravy, stejnou technologií předení a při stejné intenzitě zpevnění lze vyrobit příze o stejné měrné pevnosti, jestliže vlákna splňují podmínku rovnosti rozměrového faktoru, tudíž jestliže platí rovnost

$$\sqrt{\bar{l}_1} \bar{l}_1 = \sqrt{\bar{l}_2} \bar{l}_2 \quad (2.347)$$

Pro příze z přírodních staplových vláken podmínka stejné měrné pevnosti je u této alternativy dána rovností

$$\bar{l}_1 = \bar{l}_2 \quad (2.348)$$

Z provedené analýzy vyplývá, že pouze podle alternativy C) jsou podmínky výpředu přízí o stejné měrné pevnosti a stejné měrné třecí pevnosti stejné.

2.6.3 Aplikace modelu pevnosti příze

Aplikace předloženého modelu na vybrané druhy staplových přízí spočívá ve stanovení konstanty p_1 a exponentů g a p_2 ve funkční závislosti (2.341) a v jeho verifikaci prostřednictvím dosažených hodnot testovacích kritérií použité regrese. K tomuto účelu je třeba nejdříve experiment naplánovat a poté měřením zajistit soubor experimentálních dat v dostatečném rozsahu.

Jak vyplývá ze vztahů (2.337) a (2.315), v souhrnné konstantě p_1 je obsažen také vliv fyzikálních vlastností vláken a vliv technologie výroby na její pevnost. Z uvedeného lze dovodit, že do souboru vzorků pro experimentální měření lze zařadit příze různých jemností a zákrutů, ale pouze stejného druhu z hlediska druhu vláken, jejich povrchové úpravy a technologie jejich výroby. Pokud se prokáže, že vliv povrchové úpravy vláken na pevnost příze je neidentifikovatelný, toto hledisko pro odlišení druhu příze bude možné zanedbat.

Modelová měrná pevnost příze je složenou funkcí $F[\phi(\bar{l}; \bar{l}); \psi(\varepsilon; \mu; \delta)]$. Protože veličiny ε , μ a δ jsou podle druhu příze kvantitativně odlišnými funkcemi jemnosti a zákrutu příze, zavedme předpoklad, že také intenzita zpevnění je funkcí $\psi(T; Z)$. Stanovení těchto funkcí pro vybrané druhy příze bylo náplní samostatných kapitol. Vycházejme proto ze skutečnosti, že problematika intenzity zpevnění je fenomenologicky řešitelná a že pro vybrané druhy příze jsou známé předmětné funkční závislosti. Za těchto předpokladů měrná pevnost příze je složenou funkcí $F[\phi(\bar{l}; \bar{l}); \psi(T; Z)]$.

Z těchto funkcí je zřejmé, že u každého experimentálního vzorku příze daného druhu je třeba stanovit hodnotu pěti měřených znaků, jmenovitě F , t , l , T , Z . Protože některé z těchto znaků v modelu figurují v průměrné hodnotě $(\bar{l}, \bar{l})$ a jiné se identifikují destrukčními měřicími metodami (F, Z) , každý měřený znak se měří na jiném úseku příze. Kromě toho měření jemnosti a délky vláken z přízových vzorků je velmi obtížné a problematické; objektivnějších výsledků se docílí měřením těchto znaků odebráním vzorků vláken z příadní suroviny, pramenů nebo česanců, ze kterých se předmětná příze vypřádá. Z uvedených skutečností tedy vyplývá, že každý měřený znak je třeba měřit nezávisle, podle příslušných norem, standardními měřicími metodami,

včetně statistického vyhodnocení jeho průměrné hodnoty a v dostatečném rozsahu, testovaném výběrovou chybou měření.

Pro standardní druhy, jakými jsou například vl (100) a ba (100) česané příze, příslušnými normami jsou stanoveny intervaly vyprádaných jemností $\langle T \rangle$ a koeficientu zákrutu $\langle \alpha_F \rangle$. Při aplikaci modelu pevnosti na tyto druhy příze je třeba experiment plánovat tak, aby byl pokryt celý rozsah těchto intervalů.

Rozměrový faktor vláken ϕ měřeného vzorku příze se pro měření a vyhodnocení vypočítává dosazením průměrných hodnot jemností $\bar{t}$ a délky vláken $\bar{l}$ do vztahu (2.329).

Při aplikaci modelu pevnosti na vl (100) a ba (100) příze rozměrový faktor vláken lze upravit s použitím vztahu (2.323).

Jestliže ve vztahu (2.341) za rozměrový faktor ϕ dosadíme pravou stranu vztahu (2.323) a provedeme matematickou úpravu, pro měrnou pevnost vl (100) a ba (100) příze obdržíme funkční závislost

$$F = p_{lt} (\bar{t}^g \psi)^{p_2} \quad (2.349)$$

Pro souhrnnou konstantu p_{lt} přitom platí

$$p_{lt} = u \left(\frac{2C}{\sqrt{\pi \rho}} \right)^{gp_2} K_\rho, \quad (2.350)$$

kde C je štíhlost daného druhu vlákna.

Intenzita zpevnění ψ měřeného vzorku se vypočítá podle příslušného vztahu k danému druhu příze po dosazení průměrných hodnot jemnosti $\bar{T}$ a zákrutu $\bar{Z}$.

Průměrná pevnost $\bar{F}$ se vypočítá jako podíl průměrné naměřené pevnosti $\bar{P}$ příslušného vzorku příze a jeho průměrné jemnosti $\bar{T}$.

Z uvedených skutečností vyplývá, že experimentálním měřením z každého vzorku daného druhu příze získáme trojici hodnot $(\bar{F}, \phi, \psi)$, případně $(\bar{F}, \bar{t}, \psi)$ pro vl (100) a ba (100) příze; dále je zřejmé, že soubor experimentálních dat přes celý interval $\langle T \rangle$ a $\langle Z \rangle$ daného druhu příze obsahuje n trojic hodnot $(\bar{F}_i, \phi_i, \psi_i)$, případně $(\bar{F}_i, \bar{t}_i, \psi_i)$, přičemž $i = 1, 2, \dots, n$.

Pro zvětšení rozsahu souboru experimentálních dat při zachování počtu vzorků příze daného souboru jako optimální možnost se jeví dokrucování standardní příze na laboratorním prstencovém doprácím stroji s vyřazením průtahu.

Nyní použitím vhodné regrese je možné přistoupit ke stanovení regresních parametrů a k verifikaci modelu pevnosti příze. K tomuto účelu jsou nejvhodnější příze vypřádané ze standardních přádních směsí a s normativně stanovenými intervaly jemnosti a zákrutu, jakými jsou vl (100) a ba (100) příze česané, případně konvertorová směšová příze vl/PES (45/55), která se vypřádá v omezeném rozsahu jemností ze stejné přádní směsi.

Podle charakteru nezávisle proměnných veličin regresní funkce můžeme použít dva rozdílné typy regrese. Jestliže nezávisle proměnné veličiny budeme považovat za nenáhodné a technologicky cíleně nastavitelné, potom na základě tvaru modelových funkcí (2.341) a (2.349) můžeme použít nelineární regresi

$$y = p_1 (x_1^{p_3} x_2)^{p_2} \quad (2.351)$$

kde $x_1 = \phi$, $x_2 = \psi$ a $p_3 = g$ pro vl (100) a ba (100) příze česané $p_1 = p_{1t}$ a $x_1 = \bar{t}$.

U tohoto typu regrese je výhodné použít výpočetní program Minopt [4].

Jestliže zohledníme skutečnost, že reálná příze je nehomogenní v promísení vláken, v jemnosti, zákrutech i v pevnosti, potom všechny proměnné můžeme kvalifikovat jako náhodné. Za těchto předpokladů můžeme použít v práci již popsany linearizovaný korelační regresní model, pro který platí substituce

$$y = \ln F \quad (2.352)$$

$$x = \ln(\phi^g \psi) \quad (2.353)$$

Pro vl (100) a ba (100) příze lze také použít

$$x = \ln(\bar{t}^g \psi) \quad (2.354)$$

Jak již bylo v práci uvedeno, regrese obou uvedených typů byly použity při hledání nelineární závislosti $\mu[T; (Z - Z_0)]$; vypočítané hodnoty podle získaných empirických funkcí jsou v podstatě stejné (rozdíly řádu $10^{-2} \%$).

Jestliže nyní zohledníme výsledky předchozích kapitol, můžeme konstatovat, že regresní funkce intenzity zpevnění pro vl (100), ba (100) a vl/PES (45/55) česané příze mají posunutý počátek, tudíž jsou typu $\psi(T; Z^*)$. Z důvodu odlišení k některým regresním parametrům těchto funkcí přiřadíme symboly $p_{1\psi}$, q_ψ a $p_{2\psi}$.

Nyní úpravou obecného tvaru (1.59) funkce $\psi(T;Z^*)$ s použitím vztahů (1.35) a (1.60) a jejím následným dosazením do (2.344), pro měrnou pevnost příze obdržíme obecný tvar funkce $F(\bar{t};\bar{l};T;Z^*)$

$$F = \left(10^{-3q_\psi p_{2\psi}} p_{1\psi}\right)^{p_2} p_l \left(\sqrt{\bar{t}\bar{l}}\right)^{g p_2} T^{q_\psi p_{2\psi} p_2} \left(Z - 10^{-3z} K_Z T^z\right)^{p_{2\psi} p_2} \quad (2.355)$$

Obdobnou úpravou obecného tvaru (1.65) funkce $\psi(T;\alpha_F^*)$ s použitím vztahů (1.39) a (1.66) a jejím následným dosazením do (2.344), pro měrnou pevnost příze obdržíme obecný tvar funkce $F(\bar{t};\bar{l};T;\alpha_F^*)$

$$F = \left(10^{3(2/3-q_\psi) p_{2\psi}} p_{1\psi}\right)^{p_2} p_l \left(\sqrt{\bar{t}\bar{l}}\right)^{g p_2} T^{(q_\psi - 2/3) p_{2\psi} p_2} \left(\alpha_F - 10^{-3(z+2/3)} K_Z T^{z+2/3}\right)^{p_{2\psi} p_2} \quad (2.356)$$

Nakonec úpravou obecného tvaru (1.67) funkce $\psi(T;\alpha_K^*)$ s použitím vztahů (1.42) a (1.68) a jejím následným dosazením do (2.344), pro měrnou pevnost příze obdržíme obecný tvar funkce $F(\bar{t};\bar{l};T;\alpha_K^*)$

$$F = \left(10^{3(1/2-q_\psi) p_{2\psi}} p_{1\psi}\right)^{p_2} p_l \left(\sqrt{\bar{t}\bar{l}}\right)^{g p_2} T^{(q_\psi - 1/2) p_{2\psi} p_2} \left(\alpha_K - 10^{-3(z+1/2)} K_Z T^{z+1/2}\right)^{p_{2\psi} p_2} \quad (2.357)$$

Pro vl(100) a ba(100) česané příze analogickým postupem, ale aplikací vztahu (2.349) místo (2.344), lze odvodit obecný tvar funkční závislosti $F(\bar{t};T;Z^*)$, $F(\bar{t};T;\alpha_F^*)$ a $F(\bar{t};T;\alpha_K^*)$; tyto se od závislostí (2.355), (2.356) a (2.357) liší pouze v tom, že výraz $p_l \left(\sqrt{\bar{t}\bar{l}}\right)^{g p_2}$ je nahrazen výrazem $p_{lt} \bar{t}^{g p_2}$. Regresní parametry p_l nebo p_{lt} , g a p_2 přísluší k funkci $F(\phi;\psi)$, případně $F(\bar{t};\psi)$, parametry $p_{1\psi}$, q_ψ , $p_{2\psi}$, z a K_Z k funkcím $\psi(T;Z^*)$, $\psi(T;\alpha_F^*)$, případně $\psi(T;\alpha_K^*)$ vždy pro stejný druh příze.

2.6.4 Jednotky a rozměr veličin

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.6, hlavní jednotkou pevnosti příze P je newton $N[\text{kgms}^{-2}]$, tlaku p pascal $\text{Pa}[\text{Nm}^{-2}]$, měrné pevnosti $F[\text{NMtex}^{-1}]$, jemnosti vlákna t a jemnosti příze $T[\text{Mtex}]$. Hlavní jednotkou modulů $E(\varepsilon)$ a E je Nm^{-2} , plochy kontaktu $\lambda[\text{m}^2]$, osového momentu setrvačnosti $J[\text{m}^4]$ a délky vlákna $l[\text{m}]$. Bezrozměrné jsou následující veličiny: počet vláken v průřezu příze n , zaplnění příze μ , seskání příze δ , tažnost a , poměrná radiální stlačitelnost ε , intenzita zpevnění

příze ψ a dále součinitel statického tření f a počet mezivláknenných kontaktů N . Rozměrová konstanta k má rozměr $[m^{-4}]$, štiřlost C je bezrozměrná. Souhrnná konstanta K_ρ má rozměr $[Nm^{-1} Mtex^{-3/2}]$, rozměrový faktor vláken $\phi [Mtex^{1/2} m]$.

Regresní konstanta p_1 má rozměr $\left[Nm^{-gp_2} Mtex^{\frac{gp_2+2}{2}} \right]$, konstanta $p_{11} [NMtex^{-(gp_2+1)}]$.

Při empirickém stanovení obou regresních konstant mohou být použity také jiné než hlavní jednotky veličin.

3. APLIKAČNÍ ČÁST

3.1 Zákrutové standardy vlněné česané příze

V kapitole 2.1.2 byla provedena analýza vlněného zákrutového standardu na bázi koeficientu zákrutu α_F podle oborové normy ON 80 2320 [6] a jeho kvantitativní porovnání se zákrutovým standardem na bázi koeficientu zákrutu α_K . Z této analýzy vyplynulo, že rozdíl v zákrutech podle těchto standardů není zanedbatelný a že má významný vliv na užité vlastnosti plošných textilií. V kapitole 2.2.1 bylo prokázáno, že podmínky výpředu geometricky podobných vlněných česaných přízí nesplňuje žádný z doposud používaných koeficientů α_F a α_K a že tuto podmínku jako jediný splňuje koeficient s exponentem kroucení $q = 0,575$. Z uvedených skutečností je zřejmé, že vlněný zákrutový standard na bázi koeficientu zákrutu α_F je třeba modifikovat aplikací těchto nových poznatků.

Z teoretické části práce, jmenovitě z kapitoly 2.6 dále vyplynulo, že prakticky je možné vypřadat příze, u kterých intenzita zpevnění ψ nabývá stejné hodnoty, tudíž příze stejně intenzivně zpevněné zákrutem. Jestliže pro takovéto příze zavedeme název fyzikálně podobné, potom algoritmus pro stanovení zákrutů podmiňujících jejich fyzikální podobnost ponese název fyzikální zákrutový standard.

3.1.1 Geometrický zákrutový standard

V kapitole 2.2.1 pro intenzitu zákrutu vlněné česané příze jako funkci $\kappa(\alpha)$ byla stanovena nelineární regresní funkce (2.160) ve tvaru

$$\kappa = 1,715 \cdot 10^{-2} \alpha^{0,753}$$

přičemž koeficientu zákrutu α přísluší exponent kroucení $q = 0,575$. Ve smyslu vztahu (2.16) k této funkci je inverzní funkce

$$\alpha = 221,276 \kappa^{1,328} \quad (3.1)$$

V textilní teorii, v analogii s teorií krutu válcového hřídele, za stejně intenzivně zakroucené byly deklarovány takové příze, u kterých je stejná hodnota tangenty úhlu stoupání fiktivního povrchového vlákna, označená symbolem κ a názvem intenzita zákrutu. Jestliže řadám zákrutů podle zákrutového standardu na bázi κ přiřadíme hodnoty κ_d , κ_1 , κ_2 , κ_3 a κ_h , potom identickým řadám zákrutového standardu na bázi α

jsou příslušné hodnoty $\alpha_d, \alpha_l, \alpha_2, \alpha_3$ a α_h , vypočítané podle vztahu (3.1). Z uvedeného vyplývá, že každý zákrutový standard na bázi α , stanovený bez respektování funkce (3.1), je z důvodu nelinearity závislosti $\kappa(\alpha)$ neidentický se zákrutovým standardem na bázi κ . Praktickým výpočtem ovšem lze prokázat, že relativní chyba v zákrutech jako důsledek nerespektování funkce (3.1) je menší než 1%, a že je částečně eliminována zaokrouhlováním normativních zákrutů na nejbližší desítku.

Nyní v analogii s definicí poměrné intenzity kroucení na bázi koeficientů zákrutu, jmenovitě $\varphi_\alpha, \varphi_F$ a φ_K podle vztahů (2.17), (2.85) a (2.86), také intenzitu kroucení na bázi κ definujeme jako poměrnou bezrozměrnou veličinu se symbolem φ . Jestliže mezní hodnoty intenzity zákrutu označíme symboly κ_d a κ_h , potom poměrná intenzita kroucení na bázi κ je dána vztahem

$$\varphi = \frac{\kappa - \kappa_d}{\kappa_h - \kappa_d} \quad (3.2)$$

Z definičního vztahu je zřejmé, že jestliže $\kappa = \kappa_d, \varphi = 0$, , jestliže $\kappa = \kappa_h, \varphi = 1$, tudíž poměrná intenzita kroucení pochází z intervalu $\varphi \in \langle 0; 1 \rangle$.

Aplikací funkce $\kappa(T; \alpha_F)$ s identifikačním číslem (2.164) a mezních hodnot jemnosti a koeficientu zákrutu α_F , stanovených oborovou normou ON 80 2320 [6], pro vl (100) česané příze byly vypočítány mezní hodnoty $\kappa_d = 0,3314$ a $\kappa_h = 0,4597$. Po jejich dosazení do definičního vztahu (3.2) a po matematické úpravě pro poměrnou intenzitu kroucení jako funkci $\varphi(\kappa)$ a pro intenzitu zákrutu jako funkci $\kappa(\varphi)$ obdržíme

$$\varphi = 7,794\kappa - 2,583 \quad (3.3)$$

$$\kappa = 0,128\varphi + 0,331 \quad (3.4)$$

Nyní po dosazení za κ z (3.4) do funkce $\kappa(T; Z)$ s identifikačním číslem (2.163) můžeme vyjádřit zákrut označený symbolem Z_φ jako funkci $Z_\varphi(T; \varphi)$ a poměrnou intenzitu kroucení jako funkci $\varphi(T; Z)$ ve znění

$$Z_\varphi = 7,690 \cdot 10^{-2} T^{-0,575} (\varphi + 2,583)^{1,329} \quad (3.5)$$

$$\varphi = 6,720 \cdot 10^{-3} T^{0,433} Z^{0,753} - 2,583 \quad (3.6)$$

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.1.2, vztahem (2.71) pro výpočet zákrutu jako funkci $Z_F(T; \alpha_F)$ a stanovením intervalu hodnot jemnosti $T \in \langle 16; 50 \rangle$ tex a hodnot koeficientu zákrutu $\alpha_F: 35; 40; 45; 50; 60 \text{ ktex}^{2/3} \text{ m}^{-1}$ byly dostatečně určeny řady zákrutů 1 až 5 zákrutového standardu na bázi α_F pro předení vl (100) příze česané. Podle vztahu (2.95) lze vypočítat, že popsaným algoritmem stanoveným řadám zákrutů implicitně byla stanovena také poměrná intenzita kroucení $\varphi_F: 0; 0,2; 0,4; 0,6; 1$. Poměrná intenzita, se kterou byla příze zakroucena, determinuje účel jejího použití, např. jako přízi pletací, útkovou nebo osnovní. Protože intenzita kroucení zákrutového standardu na bázi α_F byla ověřena dlouholetou praxí, řadám zákrutů 1 až 5 zákrutového standardu na bázi κ přiřadíme stejné hodnoty poměrné intenzity kroucení $\varphi: 0; 0,2; 0,4; 0,6; 1$, ale pro výpočet zákrutu podmiňujícího geometrickou podobnost vl (100) česaných přízí budeme používat funkci $Z_\varphi(T; \varphi)$ s identifikačním číslem (3.5). Tabelované hodnoty geometrického zákrutového standardu na bázi κ pro neúplný počet přízí standardních jemností budou prezentovány v samostatné kapitole ve srovnání s jinými standardy.

Vztah (3.6) lze použít buď k predikci poměrné intenzity kroucení jako funkce $\varphi(T; Z)$, nebo jako vztah testační při projektování vlastností vl (100) česaných přízí.

3.1.2 Fyzikální zákrutový standard

V kapitole 3.1 za fyzikálně podobné byly deklarovány takové příze, u kterých intenzita zpevnění ψ nabývá stejné hodnoty. V kapitole 2.2.6 pro intenzitu zpevnění vl (100) česané příze byla stanovena regresní funkce $\psi(T; Z)$ s identifikačním číslem (2.218) ve tvaru

$$\psi = 9,299 \cdot 10^{-5} T^{0,675} \left(Z - 1297,757 T^{-0,556} \right)^{0,811}$$

Jestliže do funkce $\psi(T; Z)$ dosadíme normativní okrajové podmínky kroucení vl (100) česané příze, jmenovitě $T_d = 16 \text{ tex}$, $Z_d = 551,22 \text{ m}^{-1}$ a $T_h = 50 \text{ tex}$ a $Z_h = 442,08 \text{ m}^{-1}$, pro mezní hodnoty intenzity zpevnění obdržíme $\psi_d = 5,72 \cdot 10^{-2}$ a $\psi_h = 13,12 \cdot 10^{-2}$

Intenzitu kroucení na bázi ψ definujeme opět jako poměrnou veličinu se symbolem η podle vztahu

$$\eta = \frac{\psi - \psi_d}{\psi_h - \psi_d} \quad (3.7)$$

Z analogie s poměrnou intenzitou kroucení na bázi jiných veličin také hodnoty η pochází z intervalu $\eta \in \langle 0; 1 \rangle$.

Jestliže nyní do definičního vztahu (3.7) dosadíme vypočítané mezní hodnoty ψ_d a ψ_h a upravíme, pro poměrnou intenzitu kroucení jako funkci $\eta(\psi)$ a pro intenzitu zpevnění jako funkci $\psi(\eta)$ obdržíme

$$\eta = 13,495\psi - 0,772 \quad (3.8)$$

$$\psi = 7,410 \cdot 10^{-2} \eta + 5,720 \cdot 10^{-2} \quad (3.9)$$

Nyní po dosazení za ψ z (3.8) do funkce $\psi(T; Z)$ můžeme vyjádřit zákrut označený symbolem Z_η jako funkci $Z_\eta(T; \eta)$ a poměrnou intenzitu kroucení η jako funkci $\eta(T; Z)$ ve tvaru

$$Z_\eta = 3,779 \cdot 10^3 T^{-0,832} (\eta + 0,772)^{1,233} + 1298 T^{-0,556} \quad (3.10)$$

$$\eta = 1,256 \cdot 10^{-3} T^{0,675} (Z - 1298 T^{-0,556})^{0,811} - 0,772 \quad (3.11)$$

Vztah (3.10) pro výpočet zákrutu podmiňujícího fyzikální podobnost vl (100) česaných přízí je stěžejní pro tvorbu fyzikálního zákrutového standardu, který ve srovnání s jinými standardy bude prezentován v následující kapitole. Vztah (3.11) lze použít jednak k predikci poměrné intenzity kroucení jako funkce $\eta(T; Z)$, ale také jako testační vztah při projektování vlastností vl (100) česaných přízí.

3.1.3 Porovnání zákrutových standardů

Každý zákrutový standard je definován bazickou veličinou podmiňující geometrickou nebo fyzikální podobnost přízí, funkční nebo regresní závislostí bazické veličiny na koeficientu zákrutu nebo na jemnosti a zákrutu, řadami zákrutů determinujícími účel použití příze a vztahem pro výpočet standardního zákrutu podmiňujícího stejnou hodnotu bazické veličiny v každé řadě zákrutů. Zákrutovým standardům na bázi každé veličiny jsou společné experimentálně stanovené okrajové podmínky kroucení daného druhu příze, jejichž aplikací lze vypočítat mezní hodnoty bazické veličiny, nezbytné pro vymezení řad zákrutů.

Protože intenzita kroucení byla v této práci definována jako poměrná veličina, její hodnoty příslušné ke stejné řadě zákrutů jsou stejné bez ohledu na bazickou veličinu zákrutového standardu, jak je zřejmé z tabulky TAB.XVIII. Poměrnou intenzitu kroucení stanovující normativní řady zákrutů a nezávislou na žádné bazické veličině jsme označili symbolem φ_n a přívlastkem normativní.

vl(100)

TAB.XVIII

Veličina	Řada zákrutů				
	1	2	3	4	5
$\alpha_F \text{ [ktex}^{2/3}\text{m}^{-1}\text{]}$	35	40	45	50	60
$\varphi_F \text{ [1]}$	0	0,2	0,4	0,6	1
$\alpha_K \text{ [ktex}^{1/2}\text{m}^{-1}\text{]}$	69,72	75,55	81,37	87,20	98,85
$\varphi_K \text{ [1]}$	0	0,2	0,4	0,6	1
$\kappa \text{ [1]}$	0,331	0,357	0,383	0,408	0,460
$\beta_D \text{ [}^\circ\text{]}$	18,31	19,65	20,96	22,20	24,70
$\varphi \text{ [1]}$	0	0,2	0,4	0,6	1
$\psi \cdot 10^2 \text{ [1]}$	5,72	7,20	8,68	10,16	13,12
$\eta \text{ [1]}$	0	0,2	0,4	0,6	1
φ_n	0	0,2	0,4	0,6	1

V záhlaví citované tabulky jsou oborovou normou ON 80 2320 [6] stanovena čísla 1 až 5 řad zákrutů, v prvním řádku k nim příslušné hodnoty koeficientu zákrutu α_F : 35; 40; 45; 50; 60 ktex^{2/3}m⁻¹. K normativním řadám zákrutů příslušné hodnoty poměrné intenzity kroucení $\varphi_F = \varphi_n$: 0; 0,2; 0,4; 0,6; 1 byly vypočítány podle vztahu (2.95) upraveného na tvar

$$\varphi_F = 0,04\alpha_F - 1,4 \tag{3.12}$$

Standardní zákruty Z_F jako funkce $Z_F(T;\varphi_F)$ se vypočítají podle vztahu (2.97) upraveného na tvar

$$Z_F = 2500 T^{-2/3} (\varphi_F + 1,4) \tag{3.13}$$

Funkční závislosti potřebné pro zákrutový standard na bázi α_K , jmenovitě $\alpha_K(\varphi_K)$ a $Z_K(T; \varphi_K)$, byly odvozeny řešením vztahu (2.96) a úpravou vztahu (2.98) a mají tvar

$$\alpha_K = 29,13 \varphi_K + 69,72 \quad (3.14)$$

$$Z_K = 921,14 T^{-1/2} (\varphi_K + 2,394) \quad (3.15)$$

Analogické funkční závislosti pro geometrický a fyzikální zákrutový standard, jmenovitě $\kappa(\varphi)$, $Z_\varphi(T; \varphi)$, $\psi(\eta)$ a $Z_\eta(T; \eta)$, byly odvozeny a uvedeny pod identifikačními čísly (3.4), (3.5), (3.9) a (3.10) v kapitolách 3.1.1 a 3.1.2. K normativním řadám zákrutů příslušné hodnoty úhlu stoupání ovinů fiktivního povrchového vlákna byly stanoveny z funkce $\beta_D = \arctg \kappa$.

Nakonec aplikací prezentovaných funkčních závislostí $Z_F(T; \varphi_F)$, $Z_\varphi(T; \varphi)$, $Z_\eta(T; \eta)$ a zohledněním rovnosti poměrných intenzit kroucení $\varphi_F = \varphi = \eta = \varphi_n$ v každé řadě zákrutů, pro vybrané jemnosti vl (100) česané příze T : 16; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50 tex byly stanoveny zákruty zákrutového standardu na bázi α_F , geometrického a fyzikálního. Tyto standardy jsou prezentovány ve společné tabulce TAB.XIX.

3.1.3.1 Porovnání zákrutového standardu na bázi α_F s geometrickým a fyzikálním

Vzájemné kvantitativní porovnání zákrutových standardů na bázi různých veličin provedme analogickým způsobem jako porovnání standardů na bázi α_F a α_K provedeného v kapitole 2.1.2, tudíž porovnáním podílů zákrutů podle těchto standardů vypočítaných pro všechny řady zákrutů a pro omezený počet jemnosti příze, jmenovitě T : 16; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50 tex. Pro výpočet těchto podílů použijeme hodnoty standardních zákrutů o stejných souřadnicích $(\varphi_n; T)$, uvedených v tabulce TAB.XIX. Pro docílení komplexnějších informací kvantitativní analýzu rozšíříme o porovnání sumárních zákrutů udělených přízím všech standardních jemností vl (100) česané příze v každé řadě zákrutů.

T [tex]	Z [m ⁻¹]	Řada zákrutů / φ_n				
		1/0	2/0,2	3/0,4	4/0,6	5/1
16	Z_F	551	630	709	787	945
	Z_φ	551	609	667	727	851
	Z_η	551	641	735	834	1040
20	Z_F	475	543	611	679	814
	Z_φ	485	535	587	640	749
	Z_η	473	547	626	707	878
25	Z_F	409	468	526	585	702
	Z_φ	426	471	516	563	659
	Z_η	405	467	532	600	742
30	Z_F	363	414	466	518	621
	Z_φ	384	424	465	507	593
	Z_η	358	411	467	525	647
35	Z_F	327	374	421	467	561
	Z_φ	351	388	426	464	543
	Z_η	322	369	418	470	577
40	Z_F	299	342	385	427	513
	Z_φ	325	359	394	430	503
	Z_η	295	336	380	426	522
45	Z_F	277	316	356	395	474
	Z_φ	304	336	368	401	470
	Z_η	272	310	350	391	479
50	Z_F	258	295	332	368	442
	Z_φ	286	316	347	378	442
	Z_η	253	288	325	363	442

Jestliže v analogii s kapitolou 2.1.2 pro součet standardních zákrutů Z_F udělených přízím všech standardních jemností použijeme symbol $\sum Z_F$, potom ve smyslu vztahu (3.13) pro sumární počet zákrutů platí

$$\sum Z_F = 2500 \sum_{i=1}^n T_i^{-2/3} (\varphi_F + 1,4)$$

Použijeme-li rozšířenou řadu jemností podle normy ČSN 80 0050 [24], potom počet standardních jemností pro vl(100) česanou přízi, zkrácenou formou vyjmenovaných v kapitole 2.1.1, je $n = 24$. Jestliže vyčíslíme ve vztahu uvedenou sumaci přes všechny standardní jemnosti, obdržíme

$$\sum_{i=1}^{24} T_i^{-2/3} = 2,61654$$

Po dosazení této číselné hodnoty za uvedenou sumaci a po vyčíslení konstant, pro sumární počet zákrutů jako funkci $\sum Z_F(\varphi_F)$ obdržíme

$$\sum Z_F = 6541,35 (\varphi_F + 1,4) \quad (3.16)$$

Analogickým postupem a s použitím vztahu (3.5) pro sumární počet zákrutů $\sum Z_\varphi$ lze odvodit vztah

$$\sum Z_\varphi = 2720,384 (\varphi + 2,583)^{1,329} \quad (3.17)$$

přičemž ke vztahu příslušný součet mocnin standardních jemností má číselnou hodnotu

$$\sum_{i=1}^{24} T_i^{-0,575} = 3,53756$$

Podíly standardních zákrutů $Z_F : Z_\varphi$, vypočítané vydělením jejich hodnot o stejných souřadnicích $(\varphi_n; T)$ v tabulce TAB.XIX a sumární zákruty $\sum Z_F$ a $\sum Z_\varphi$, vypočítané podle odvozených vztahů, jakož i jejich podíly $\sum Z_F : \sum Z_\varphi$, jsou prezentovány v tabulce TAB.XX. Ve vyčnívající části tabulky jsou uvedeny součty $\sum \sum Z_F$ a $\sum \sum Z_\varphi$, které jsou výsledkem sečtení hodnot v příslušných řádcích tabulky a jejich podíl $\sum \sum Z_F : \sum \sum Z_\varphi$. Silnou čarou jsou v tabulce vymezeny oblasti podílů zákrutů větších a menších než jedna a jednotkové podíly, které při

porovnávání zákrutových standardů na různých bázích mají v souřadnicích $(\varphi_n; T)$ vždy stejnou polohu, jmenovitě (0 ; 16) a (1 ; 50). Tato skutečnost vyplývá z okrajových podmínek kroucení daného druhu příze, které jsou společné všem zákrutovým standardům. Extrémní hodnoty podílů standardních zákrutů mají rovněž konstantní polohu v tabulce, jmenovitě (0 ; 50) a (1 ; 16).

vl (100)

TAB.XX

T [tex]	Řada zákrutů / φ_n					
	1/0	2/0,2	3/0,4	4/0,6	5/1	
	$Z_F : Z_\varphi$					
16	1	1,034	1,063	1,083	1,110	
20	0,979	1,015	1,041	1,061	1,087	
25	0,960	0,994	1,019	1,039	1,065	
30	0,945	0,976	1,002	1,022	1,047	
35	0,932	0,964	0,988	1,006	1,033	
40	0,920	0,953	0,977	0,993	1,020	
45	0,911	0,940	0,967	0,985	1,009	
50	0,902	0,934	0,957	0,974	1	
$\sum Z_F$	9158	10466	11774	13083	15699	60180
$\sum Z_\varphi$	9602	10602	11626	12674	14833	59337
$\sum Z_F : \sum Z_\varphi$	0,954	0,987	1,013	1,032	1,058	1,014

Protože z tabulky jsou zřejmé trendy růstu, případně poklesu hodnot podílů standardních zákrutů, při komentování se omezíme pouze na intervaly, ze kterých tyto hodnoty pocházejí. K tomuto účelu je vhodnější odchylky zákrutů podle porovnávaných zákrutových standardů definovat jako poměrné veličiny. Ve smyslu uvedeného pro poměrné odchylky standardních zákrutů Z_F a standardních zákrutů Z_φ se symbolem $\delta Z_{F\varphi}$, dále sloupcových zákrutových bilancí $\sum Z_F$ a $\sum Z_\varphi$ přes všechny standardní jemnosti vl (100) česané příze se symbolem $\delta \sum Z_{F\varphi}$ a nakonec celoplošných zákrutových bilancí $\sum \sum Z_F$ a $\sum \sum Z_\varphi$ přes všechny standardní jemnosti a všechny řady zákrutů se symbolem $\delta \sum \sum Z_{F\varphi}$ platí vztahy

$$\delta Z_{F\varphi} = \left(\frac{Z_F}{Z_\varphi} - 1 \right) \cdot 100 \quad (3.18)$$

$$\delta \sum Z_{F\varphi} = \left(\frac{\sum Z_F}{\sum Z_\varphi} - 1 \right) \cdot 100 \quad (3.19)$$

$$\delta \sum \sum Z_{F\varphi} = \left(\frac{\sum \sum Z_F}{\sum \sum Z_\varphi} - 1 \right) \cdot 100 \quad (3.20)$$

Ve smyslu vztahů (3.18) až (3.20) a hodnot uvedených v tabulce TAB.XX můžeme konstatovat, že poměrné odchylky zákrutů Z_F podle zákrutového standardu na bázi α_F a zákrutů Z_φ podle geometrického standardu a sloupcových zákrutových bilancí $\sum Z_F$ a $\sum Z_\varphi$ pocházejí z intervalů

$$\delta Z_{F\varphi} \in \langle -9,8 ; 11,0 \rangle \%$$

$$\delta \sum Z_{F\varphi} \in \langle -4,6 ; 5,8 \rangle \%$$

Poměrná odchylka celoplošných zákrutových bilancí $\sum \sum Z_F$ a $\sum \sum Z_\varphi$ má hodnotu

$$\delta \sum \sum Z_{F\varphi} = 1,4 \%$$

Z tabulky a číselných hodnot poměrných odchylek vyplývá, že celoplošná zákrutová bilance je pro zákrutový standard na bázi α_F kladná a že bodová zákrutová analýza je nevýznamně asymetrická na straně tenkých přízí a sloupcová zákrutová bilance na straně vysoké intenzity kroucení.

Nyní provedme analogické porovnání zákrutového standardu na bázi α_F a fyzikálního zákrutového standardu. Za použití vztahu (3.10) byl k tomuto účelu odvozen vztah pro sumární počet zákrutů přes všechny standardní jemnosti jako funkce $\sum Z_\eta(\eta)$ ve tvaru

$$\sum Z_\eta = 5753,792 (\eta + 0,772)^{1,233} + 4888,554 \quad (3.21)$$

přičemž ke vztahu příslušné součty mocnin standardních jemností mají číselné hodnoty

$$\sum_{i=1}^{24} T_i^{-0,832} = 1,52257$$

$$\sum_{i=1}^{24} T_i^{-0,556} = 3,76622$$

V tabulce TAB.XXI jsou uvedeny podíly standardních zákrutů $Z_F:Z_\eta$, vypočítané vydělením jejich hodnot o stejných souřadnicích $(\varphi_n; T)$ v tabulce TAB.XIX, dále z tabulky TAB.XX převzaté hodnoty sumárních zákrutů $\sum Z_F$, podle vztahu (3.21) vypočítané hodnoty sumárních zákrutů $\sum Z_\eta$, podíly sumárních zákrutů $\sum Z_F:\sum Z_\eta$ a ve vyčnávající části tabulky sumární zákruty celoplošné zákrutové bilance $\sum\sum Z_F$ a $\sum\sum Z_\eta$ a jejich podíl.

vl (100)

TAB.XXI

T [tex]	Řada zákrutů / φ_n					
	1/0	2/0,2	3/0,4	4/0,6	5/1	
	$Z_F : Z_\eta$					
16	1	0,983	0,965	0,944	0,909	
20	1,004	0,993	0,976	0,960	0,927	
25	1,010	1,002	0,989	0,975	0,946	
30	1,014	1,007	0,998	0,987	0,960	
35	1,016	1,014	1,007	0,994	0,972	
40	1,017	1,018	1,013	1,002	0,983	
45	1,018	1,019	1,017	1,010	0,990	
50	1,020	1,024	1,022	1,014	1	
$\sum Z_F$	9158	10466	11774	13083	15699	60180
$\sum Z_\eta$	9071	10444	11886	13386	16538	61325
$\sum Z_F : \sum Z_\eta$	1,010	1,002	0,991	0,977	0,949	0,981

Použitím tabulkových hodnot a vztahů analogických se vztahy (3.18) až (3.20) můžeme vyčíslit, že poměrné odchylky zákrutů Z_F podle zákrutového standardu na bázi α_F a zákrutů Z_η podle fyzikálního standardu a sloupcových zákrutových bilancí $\sum Z_F$ a $\sum Z_\eta$ pocházejí z intervalů

$$\delta Z_{F\eta} \in \langle 2,0;-9,1 \rangle \%$$

$$\delta \sum Z_{F\eta} \in \langle 1,0;-5,1 \rangle \%$$

Poměrná odchylka celoplošných zákrutových bilancí $\sum \sum Z_F$ a $\sum \sum Z_\eta$ má hodnotu

$$\delta \sum \sum Z_{F\eta} = -1,9 \%$$

Z tabulky a číselných hodnot poměrných zákrutových odchylek vyplývá, že celoplošná zákrutová bilance je pro zákrutový standard na bázi α_F záporná a že bodová zákrutová analýza je významně asymetrická na straně tenkých přízí a sloupcová zákrutová bilance na straně vysoké intenzity kroucení.

3.1.3.2 Porovnání zákrutového standardu na bázi α_K s geometrickým a fyzikálním

Protože v tabulce TAB. XIX pro nedostatek místa nebyl prezentován zákrutový standard na bázi α_K , pro jeho analogické porovnání jako u standardu na bázi α_F je třeba odvodit vztahy pro výpočet podílů standardních zákrutů $Z_K : Z_\eta$ a sumárních zákrutů $\sum Z_K$.

Vydělením vztahů (3.15) a (3.5) a matematickou úpravou pro podíl standardních zákrutů $Z_K : Z_\varphi$ obdržíme

$$\frac{Z_K}{Z_\varphi} = 1,198 T^{0,075} \frac{\varphi_K + 2,394}{(\varphi + 2,583)^{1,329}} \quad (3.22)$$

Po vydělení vztahů (3.15) a (3.10) a po následné úpravě pro podíl standardních zákrutů $Z_K : Z_\eta$ platí

$$\frac{Z_K}{Z_\eta} = \frac{0,244 T^{0,332} (\varphi_K + 2,394)}{(\eta + 0,772)^{1,233} + 0,344 T^{0,276}} \quad (3.23)$$

S použitím vztahu (3.15) pro sumární zákrut přes všechny standardní jemnosti jako funkci $\sum Z_K(\varphi_K)$ obdržíme

$$\sum Z_K = 4173,621(\varphi_K + 2,394) \quad (3.24)$$

přičemž ke vztahu příslušný součet mocnin standardních jemností má číselnou hodnotu

$$\sum_{i=1}^{24} T_i^{-1/2} = 4,53093$$

V následující tabulce TAB.XXII je provedeno kvantitativní porovnání zákrutového standardu na bázi α_K s geometrickým. Podíly standardních zákrutů jako funkce $Z_K/Z_\varphi(T; \varphi_n)$ a sumární zákruty jako funkce $\sum Z_K(\varphi_n)$ byly vypočítány podle vztahů (3.22) a (3.24) při zohlednění identické rovnosti poměrných intenzit kroucení $\varphi_K = \varphi = \varphi_n$ pro každou řadu zákrutů. Hodnoty sumárních zákrutů geometrického standardu jako funkce $\sum Z_\varphi(\varphi_n)$ byly převzaty z tabulky TAB.XX.

vl (100)

TAB.XXII

T [tex]	Řada zákrutů / φ_n					
	1/0	2/0,2	3/0,4	4/06	5/1	
	$Z_K : Z_\varphi$					
16	1	0,981	0,965	0,948	0,918	
20	1,016	0,999	0,980	0,963	0,933	
25	1,035	1,014	0,997	0,980	0,947	
30	1,048	1,029	1,010	0,993	0,962	
35	1,062	1,041	1,021	1,005	0,973	
40	1,073	1,052	1,033	1,014	0,983	
45	1,081	1,060	1,042	1,025	0,991	
50	1,090	1,069	1,050	1,032	1	
$\sum Z_K$	9992	10826	11661	12496	14165	59140
$\sum Z_\varphi$	9602	10602	11626	12674	14833	59337
$\sum Z_K : \sum Z_\varphi$	1,041	1,021	1,003	0,986	0,955	0,997

Z poměrných tabulkových hodnot můžeme stanovit, že poměrné odchylky zákrutů Z_K podle zákrutového standardu na bázi α_K a zákrutů Z_φ podle geometrického standardu a zákrutových sloupcových bilancí $\sum Z_K$ a $\sum Z_\varphi$ pocházejí z intervalů

$$\delta Z_{K\varphi} \in \langle 9,0; -8,2 \rangle \%$$

$$\delta \sum Z_{K\varphi} \in \langle 4,1; -4,5 \rangle \%$$

Poměrná odchylka celoplošných zákrutových bilancí $\sum \sum Z_K$ a $\sum \sum Z_\varphi$ má hodnotu

$$\delta \sum \sum Z_{K\varphi} = -0,3 \%$$

Z hodnot poměrných zákrutových odchylek vyplývá, že celoplošná zákrutová bilance standardu na bázi α_K a geometrického je téměř vyrovnaná a že jejich bodová zákrutová analýza i sloupcová zákrutová bilance se vyznačují nevýznamnou asymetrií.

V tabulce TAB.XXIII je provedeno kvantitativní porovnání zákrutových standardů na bázi α_K a fyzikálního. Podíly standardních zákrutů jako funkce $Z_K/Z_\eta(\varphi_n)$ byly vypočítány podle vztahu (3.23) opět se zřetelem na identickou rovnost $\varphi_K = \eta = \varphi_n$ pro každou řadu zákrutů, hodnoty sumárních zákrutů porovnávaných standardů jako $\sum Z_K(\varphi_n)$ a $\sum Z_\eta(\varphi_n)$ byly převzaty z dříve uvedených tabulek.

vl (100)

TAB.XXIII

T [tex]	Řada zákrutů / φ_n					
	1/0	2/0,2	3/0,4	4/0,6	5/1	
	$Z_K : Z_\eta$					
16	1	0,932	0,875	0,828	0,753	
20	1,044	0,977	0,921	0,873	0,797	
25	1,089	1,023	0,967	0,919	0,844	
30	1,124	1,061	1,006	0,959	0,882	
35	1,157	1,094	1,041	0,994	0,917	
40	1,186	1,124	1,071	1,023	0,947	
45	1,208	1,149	1,096	1,051	0,975	
50	1,232	1,173	1,120	1,074	1	
$\sum Z_K$	9992	10826	11661	12496	14165	59140
$\sum Z_\eta$	9071	10444	11886	13386	16538	61325
$\sum Z_K : \sum Z_\eta$	1,102	1,037	0,981	0,934	0,857	0,964

Z poměrných tabulkových hodnot můžeme stanovit, že poměrné odchylky zákrutů Z_K podle zákrutového standardu na bázi α_K a zákrutů Z_η podle fyzikálního

standardu a sloupcových zákrutových bilancí $\sum Z_K$ a $\sum Z_\eta$ pocházejí z intervalů

$$\delta Z_{K\eta} \in \langle 23,2 ; -24,7 \rangle \%$$

$$\delta \sum Z_{K\eta} \in \langle 10,2 ; -14,3 \rangle \%$$

Poměrná odchylka celoplošných zákrutových bilancí $\sum \sum Z_K$ a $\sum \sum Z_\eta$ má hodnotu

$$\delta \sum \sum Z_{K\eta} = -3,6 \%$$

Z tabulky a hodnot poměrných zákrutových odchylek je zřejmé, že celoplošná zákrutová bilance je pro zákrutový standard na bázi α_K záporná a relativně velká, že zejména sloupcová zákrutová bilance je významně asymetrická na straně vysoké intenzity kroucení a že bodová zákrutová analýza nabývá velmi velkých extrémních hodnot.

3.1.3.3 Porovnání geometrického a fyzikálního zákrutového standardu

Nakonec stejnou metodou jako v předcházejících kapitolách provedme kvantitativní porovnání také geometrického a fyzikálního zákrutového standardu. K tomu účelu slouží hodnoty obsažené v tabulce TAB.XXIV, jmenovitě podíly standardních zákrutů $Z_\varphi : Z_\eta$, vypočítané vydělením jejich hodnot o stejných souřadnicích v tabulce XIX, dále z předcházejících tabulek převzaté hodnoty sumárních zákrutů $\sum Z_\varphi$ a $\sum Z_\eta$ a jejich podíly a ve vyčnívající části tabulky sumární zákruty celoplošné zákrutové bilance $\sum \sum Z_\varphi$ a $\sum \sum Z_\eta$ a jejich podíl.

Z poměrných tabulkových hodnot můžeme opět stanovit, že poměrné odchylky zákrutů Z_φ podle geometrického standardu a Z_η podle fyzikálního zákrutového standardu, jakož i sloupcových zákrutových standardů $\sum Z_\varphi$ a $\sum Z_\eta$, pocházejí z intervalů

$$\delta Z_{\varphi\eta} \in \langle 13,0 ; -18,2 \rangle \%$$

$$\delta \sum Z_{\varphi\eta} \in \langle 5,9 ; -10,3 \rangle \%$$

TAB.XXIV

vl (100)

VI(100)

T [tex]	Řada zákrutů / φ_n					
	1/0	2/0,2	3/0,4	4/0,6	5/1	
	$Z_\varphi : Z_\eta$					
16	1	0,950	0,907	0,872	0,818	
20	1,025	0,978	0,938	0,905	0,853	
25	1,052	1,009	0,970	0,938	0,888	
30	1,073	1,032	0,996	0,966	0,917	
35	1,090	1,051	1,019	0,987	0,941	
40	1,102	1,068	1,037	1,009	0,964	
45	1,118	1,084	1,051	1,026	0,981	
50	1,130	1,097	1,068	1,041	1	
$\sum Z_\varphi$	9602	10602	11629	12674	14833	59340
$\sum Z_\eta$	9071	10444	11886	13386	16538	61325
$\sum Z_\varphi : \sum Z_\eta$	1,059	1,015	0,978	0,947	0,897	0,968

Poměrná odchylka celoplošných zákrutových bilancí $\sum \sum Z_\varphi$ a $\sum \sum Z_\eta$ má hodnotu

$$\delta \sum \sum Z_{\varphi\eta} = -3,2 \%$$

Z tabulky a hodnot poměrných zákrutových odchylek je zřejmé, že celoplošná zákrutová bilance je pro geometrický zákrutový standard záporná a relativně velká a že bodová zákrutová analýza je významně asymetrická na straně tenkých přízí a sloupcová zákrutová bilance na straně vysoké intenzity kroucení.

Výsledky porovnání jednotlivých zákrutových standardů jsme komentovali z hlediska polarity a velikosti poměrné zákrutové odchylky celoplošné zákrutové bilance a z hlediska asymetrie bodové zákrutové analýzy a sloupcové zákrutové bilance. Pro posouzení objektivní platnosti je ovšem stěžejní velikost mezních hodnot, případně délka intervalu poměrných zákrutových odchylek posuzovaného standardu. Na základě výše uvedeného a skutečnosti, že intervaly poměrných zákrutových odchylek všech posuzovaných standardů jsou delší než interval $\delta Z_{F\eta} \in \langle 2,0 ; -9,1 \rangle \%$, na závěr kapitoly 3.1 můžeme konstatovat následovné:

- vl (100) česané příze, vypřádané se zákruty podle zákrutového standardu na bázi α_F , nelze deklarovat za geometricky ani fyzikálně podobné;
- vl (100) česané příze, vypřádané se zákruty podle zákrutového standardu na bázi α_K , nelze deklarovat za geometricky ani fyzikálně podobné;
- vl (100) česané příze, vypřádané se zákruty podle geometrického standardu, nelze deklarovat za fyzikálně podobné a obráceně;
- protože porovnání geometrického a fyzikálního zákrutového standardu vyznělo v neprospěch tenkých přízí a vysoké intenzity kroucení, pro vl (100) česané příze doporučuji fyzikální zákrutový standard.

3.2 Predikční funkce vlněné česané příze

Pro potřeby textilní teorie i praxe slouží funkce veličin popisujících geometrický nebo fyzikální stav, případně vlastnosti daného druhu příze. Protože tyto funkce lze použít k výpočtu hodnot, kterých závisle proměnná veličina nabývá v závislosti na hodnotách veličin nezávisle proměnných, bývají označovány jako predikční. Označíme-li obecnou veličinu příze symbolem A , potom pro textilní praxi nejvhodnější jsou predikční funkce $A(T;Z)$ nebo $A(T;Z^*)$, $A(T;\varphi)$ a $A(T;\eta)$.

Pro zjednodušení obecného tvaru transformovaných regresních funkcí (1.34) a (1.59), v nichž jsou obsaženy také součinnové parametry, zavedme substituci

$$a = p_{1z}; \quad b = p_2 q; \quad c = K_{zz}; \quad d = z; \quad e = p_2$$

Po dosazení substitučních parametrů do citovaných vztahů pro obecnou veličinu A jako funkci $A(T;Z)$ a $A(T;Z^*)$ obdržíme transformované regresní funkce ve tvaru

$$A = a T^b Z^e \quad (3.25)$$

$$A = a T^b (Z - c T^d)^e \quad (3.26)$$

Jestliže nyní do výše uvedených funkcí dosadíme zákrut jako funkci $Z_\varphi(T;\varphi)$ podle (3.5) a $Z_\eta(T;\eta)$ podle (3.10), obdržíme predikční funkce $A(T;\varphi)$ a $A(T;\eta)$ v obecném tvaru

$$A = a T^b [Z_\varphi(T;\varphi)]^e \quad (3.27)$$

$$A = a T^b [Z_\eta(T; \eta)]^e \quad (3.28)$$

$$A = a T^b [Z_\varphi(T; \varphi) - c T^d]^e \quad (3.29)$$

$$A = a T^b [Z_\eta(T; \eta) - c T^d]^e \quad (3.30)$$

Pro usnadnění práce při provádění transformace regresních funkcí použitím vztahů (3.25) až (3.30), jakož i pro potřeby projektování vlastností příze, řešeného v následující kapitole, v tabulce TAB.XXV jsou uvedeny číselné hodnoty substitučních parametrů predikčních funkcí všech v práci sledovaných veličin a druhů příze.

Po dosazení tabelovaných substitučních parametrů vl (100) česané příze, případně funkcí standardních zákrutů $Z_\varphi(T; \varphi)$ podle (3.5) a $Z_\eta(T; \eta)$ podle (3.10) do vztahů (3.25) až (3.30) a po příslušné matematické úpravě, pro každou sledovanou veličinu obdržíme trojici predikčních funkcí, jmenovitě $A(T; Z)$ nebo $A(T; Z^*)$, $A(T; \varphi)$ a $A(T; \eta)$. Výjimku tvoří bazické veličiny κ a ψ , jejichž predikční funkce $\kappa(\alpha)$ podle (3.4) a $\psi(\eta)$ podle (3.9) jsou dvoudimenzionální. V následujících odstavcích jsou uvedeny zmíněné trojice predikčních funkcí všech v práci sledovaných veličin vlněné česané příze, u funkcí seskání je provedena redukce chyb způsobených přibližným řešením Schwarzovy konstanty. Protože funkce $A(T; Z)$ a $A(T; Z^*)$ všech sledovaných veličin a dále funkce $\kappa(\varphi)$ a $\kappa(\eta)$ byly již v práci prezentovány s přidělenými identifikačními čísly, mezi predikčními funkcemi jsou uvedeny bez čísla.

Intenzita zákrutu κ

$$\begin{aligned} \kappa &= 8,622 \cdot 10^{-4} T^{0,433} Z^{0,753} \\ \kappa &= 0,128 \varphi + 0,331 \\ \kappa &= 0,425 T^{-0,193} [(\eta + 0,772)^{1,233} + 0,344 T^{0,276}]^{0,753} \\ \beta_D &= \arctg \kappa \end{aligned} \quad (3.31)$$

Průměr příze D [mm]

$$\begin{aligned} D &= 0,274 T^{0,433} Z^{-0,247} \\ D &= 5,305 \cdot 10^{-2} T^{0,575} (\varphi + 2,583)^{-0,329} \end{aligned} \quad (3.32)$$

$$D = 3,584 \cdot 10^{-2} T^{0,639} [(\eta + 0,772)^{1,233} + 0,344 T^{0,276}]^{-0,247} \quad (3.33)$$

TAB.XXV

Veličina	Parametr	Druh příze		
		vl (100)	vl/PES (45/55)	ba (100)
κ [1]	$a [\text{tex}^{-b} \text{m}^e]$	$8,62225 \cdot 10^{-4}$	$1,13291 \cdot 10^{-3}$	$8,39788 \cdot 10^{-4}$
	b	0,43293	0,41706	0,43359
	e	0,75272	0,71909	0,74738
D [m]	$a [\text{tex}^{-b} \text{m}^{e+1}]$	$2,74436 \cdot 10^{-4}$	$3,60613 \cdot 10^{-4}$	$2,67317 \cdot 10^{-4}$
	b	0,43293	0,41706	0,43359
	e	-0,24728	-0,28091	-0,25262
δ [1]	$a [\text{tex}^{-b} \text{m}^e]$	$1,97458 \cdot 10^{-7}$	$2,87834 \cdot 10^{-7}$	$2,09190 \cdot 10^{-7}$
	b	0,89185	0,91874	0,89700
	e	1,42547	1,35778	1,41447
μ [1]	$a [\text{tex}^{-b} \text{m}^e]$	$2,87185 \cdot 10^{-2}$	$1,70921 \cdot 10^{-2}$	$4,88989 \cdot 10^{-2}$
	b	0,13490	0,16547	0,08884
	$c [\text{tex}^{-d} \text{m}^{-1}]$	76,03287	75,41291	336,62570
	d	0,08031	0,06232	-0,21324
	e	0,38003	0,44126	0,32101
ε [1]	$a [\text{tex}^{-b} \text{m}^e]$	$4,15808 \cdot 10^{-3}$	$6,12487 \cdot 10^{-3}$	$8,74070 \cdot 10^{-3}$
	b	0,51784	0,46575	0,46179
	$c [\text{tex}^{-d} \text{m}^{-1}]$	2624,11420	2695,50050	3020,15180
	d	-0,68659	-0,68808	-0,68222
	e	0,39266	0,37803	0,30722
ψ [1]	$a [\text{tex}^{-b} \text{m}^e]$	$9,29881 \cdot 10^{-5}$	$8,82838 \cdot 10^{-5}$	$6,35664 \cdot 10^{-4}$
	b	0,67504	0,64874	0,50242
	$c [\text{tex}^{-d} \text{m}^{-1}]$	1297,75720	1304,55980	2178,58680
	d	-0,55559	-0,55874	-0,61978
	e	0,81120	0,84969	0,60361

Seskání příze δ

Použitím hodnot uvedených v tabulce TAB.XIII pro vl(100) česané příze lze vypočítat, že podíl p mezních hodnot seskání zatížených chybou z přibližného řešení Schwarzovy konstanty a mezních hodnot zmíněnou chybou nezatížených, pochází z intervalu $p \in \langle 1,127; 1,086 \rangle$. Tento nepříznivý vliv byl eliminován vynásobením predikčních funkcí $\delta(T; Z)$, $\delta(T; \varphi)$ a $\delta(T; \eta)$ průměrnou hodnotou $\bar{p} = 1,107$, čímž chyby z přibližného řešení Schwarzovy konstanty byly zredukovány na interval $\partial\delta \in \langle -1,77; 1,93 \rangle$ %. Po provedení popsanych úprav predikční funkce seskání mají tvar

$$\delta = 2,186 \cdot 10^{-7} T^{0,892} Z^{1,425} \quad (3.34)$$

$$\delta = 2,845 \cdot 10^{-3} T^{0,072} (\varphi + 2,583)^{1,894} \quad (3.35)$$

$$\delta = 2,739 \cdot 10^{-2} T^{-0,294} [(\eta + 0,772)^{1,233} + 0,344 T^{0,276}]^{1,425} \quad (3.36)$$

Zaplnění příze μ

$$\mu = 2,872 \cdot 10^{-2} T^{0,135} (Z - 76 T^{0,08})^{0,38}$$

$$\mu = 0,359 T^{-0,084} [(\varphi + 2,583)^{1,329} - 9,878 \cdot 10^{-2} T^{0,655}]^{0,38} \quad (3.37)$$

$$\mu = 0,657 T^{-0,181} [(\eta + 0,772)^{1,233} + 0,344 T^{0,276} - 2,017 \cdot 10^{-2} T^{0,912}]^{0,38} \quad (3.38)$$

Poměrná radiální stlačitelnost ε

$$\varepsilon = 4,158 \cdot 10^{-3} T^{0,518} (Z - 2624 T^{-0,687})^{0,393}$$

$$\varepsilon = 5,653 \cdot 10^{-2} T^{0,292} [(\varphi + 2,583)^{1,329} - 3,409 T^{-0,111}]^{0,393} \quad (3.39)$$

$$\varepsilon = 0,106 T^{0,191} [(\eta + 0,772)^{1,233} + 0,344 T^{0,276} - 0,696 T^{0,145}]^{0,393} \quad (3.40)$$

Intenzita zpevnění příze ψ

$$\begin{aligned}\psi &= 9,299 \cdot 10^{-5} T^{0,675} (Z - 1298 T^{-0,556})^{0,811} \\ \psi &= 2,041 \cdot 10^{-2} T^{0,209} [(\varphi + 2,583)^{1,329} - 1,686 T^{0,02}]^{0,811} \\ \psi &= 7,405 \cdot 10^{-2} \eta + 5,724 \cdot 10^{-2}\end{aligned}\tag{3.41}$$

Pro úplnost ještě uvedme, že poměrná intenzita kroucení, bez ohledu na její bazickou veličinu, nabývá hodnot z intervalu $\langle 0; 1 \rangle$ a že standardní vlněná česaná příze v závislosti na účelu jejího použití se vypřádá s poměrnou intenzitou kroucení $\varphi = \eta: 0; 0,2; 0,4; 0,6; 1$.

3.3 Projektování vlastností příze

Každá ze sledovaných veličin příze je buď nositelkou některé z jejich vlastností, anebo charakterizuje její geometrický nebo fyzikální stav. Projektování vlastností příze můžeme obecně definovat jako stanovení takového zákrutu, při kterém veličina, která je nositelkou projektované vlastnosti nebo stavu, nabývá žádané hodnoty. Z předložené definice vyplývá, že předmětem projektování je žádaná hodnota projektované veličiny, jeho nástrojem je zákrut, který tuto hodnotu kvantitativně podmiňuje. Na základě uvedeného tento „zákrut na míru“ označme jako projektovaný zákrut.

Jestliže zohledníme možné alternativy způsobů dimenzování projektované veličiny, potom pro projektování vlastností příze v závislosti na jejím druhu existují tři alternativy řešení.

- A) Jaký zákrut Z musíme udělit přízi daného druhu o jemnosti T , aby projektovaná veličina A nabyla žádané hodnoty z intervalu $A \in \langle A_{\min}; A_{\max} \rangle$;
- B) Jaký zákrut Z musíme udělit přízi daného druhu o jemnosti T , aby projektovaná veličina A se rovnala K násobku hodnoty A_1 , které nabývá příze **stejného druhu** o jemnosti T_1 při zákrutu Z_1 ;
- C) Jaký zákrut Z musíme udělit přízi daného druhu o jemnosti T , aby projektovaná veličina A se rovnala K násobku hodnoty A_m , které nabývá příze **jiného druhu** o jemnosti T_m při zákrutu Z_m .

Konstantu K označíme názvem *projektová konstanta*; teoreticky lze projektovat s každou její hodnotou $K > 0$, pro praktickou aplikaci lze použít $K > 1$, $K < 1$ a $K = 1$.

Z vytypovaných alternativ řešení vyplývá, že u alternativy A) projektovaný zákrut je funkcí $Z(T; A)$, u alternativy B) funkcí $Z(K; T; T_1; Z_1)$ a u alternativy C)

funkci $Z(K; T; T_m; Z_m)$. Z uvedeného dále vyplývá, že pro konkrétní přízi nebo dvojici přízí u projektování podle alternativy A) „volitelná“ je pouze hodnota veličiny A , u alternativ B) a C) pouze hodnota projektové konstanty K .

Nutným předpokladem pro obecné řešení funkce projektovaného zákrutu podle vytypovaných alternativ je znalost typu a tvaru funkce projektované veličiny pro daný druh příze. Pro sledované česané příze k tomuto účelu použijeme predikční funkce v obecném tvaru, z nichž typ $A(T; Z)$ byl uveden pod identifikačním číslem (3.25) a typ $A(T; Z^*)$ pod číslem (3.26), jmenovitě

$$A = a T^b Z^e$$

$$A = a T^b (Z - c T^d)^e$$

Aplikací těchto funkcí můžeme přistoupit k obecnému řešení podle vytypovaných alternativ. Protože predikční funkce projektovaných veličin jsou dvojího typu, každá z vytypovaných alternativ má také dvojí obecné řešení. Naproti tomu u rozdílného druhu přízí z hlediska materiálového složení nebo technologie výroby predikční funkce projektovaných veličin jsou stejného typu, ale s rozdílnými hodnotami regresních parametrů. Jako rozlišovací symbol druhu příze podle materiálového složení použijme hustotu vláken ρ . Jestliže zohledníme všechny uvedené skutečnosti, potom obecné řešení problematiky projektování vlastností přízí má následující členění.

A) Vstupní veličiny: $T; \rho$

Projektovaná dimenze: $A \in \langle A_{\min}; A_{\max} \rangle$

Aa) Predikční funkce typu $A(T; Z)$

Řešení: $Z = Z(T; A)$

Projektovaný zákrut:

$$Z = a^{-\frac{1}{e}} T^{-\frac{b}{e}} A^{\frac{1}{e}} \quad (3.42)$$

Ab) Predikční funkce typu $A(T; Z^*)$

Řešení: $Z = Z(T; A) + Z_0(T)$

Projektovaný zákrut:

$$Z = a^{-\frac{1}{e}} T^{-\frac{b}{e}} A^{\frac{1}{e}} + c T^d \quad (3.43)$$

B) Vstupní veličiny: T ; ρ ; T_1 ; Z_1 ; ρ_1 ; $\rho = \rho_1$

Projektovaná dimenze: $A = K A_1$; $K = \text{konst.}$

Ba) Predikční funkce typu $A(T; Z)$

Řešení: $A(T; Z) = K A_1(T_1; Z_1)$

$a = a_1$; $b = b_1$; $c = c_1$

Projektovaný zákrut:

$$Z = K^{\frac{1}{e}} \left(\frac{T_1}{T} \right)^{\frac{b}{e}} Z_1 \quad (3.44)$$

Ve zvláštním případě: $K = 1$; $T = T_1$; $Z = Z_1$

Bb) Predikční funkce typu $A(T; Z^*)$

Řešení: $A(T; Z^*) = K A_1(T_1; Z_1^*)$

$a = a_1$; $b = b_1$; $c = c_1$; $d = d_1$; $e = e_1$

Projektovaný zákrut:

$$Z = K^{\frac{1}{e}} \left(\frac{T_1}{T} \right)^{\frac{b}{e}} (Z_1 - c T_1^d) + c T^d \quad (3.45)$$

Ve zvláštním případě: $K = 1$; $T = T_1$; $Z = Z_1$

C) Vstupní veličiny: T ; ρ ; T_m ; Z_m ; ρ_m ; $\rho \neq \rho_m$

Projektovaná dimenze: $A = K A_m$; $K = \text{konst.}$

Ca) Predikční funkce typu $A(T; Z)$

Řešení: $A(T; Z) = K A_m(T_m; Z_m)$

$a \neq a_m$; $b \neq b_m$; $e \neq e_m$

Projektovaný zákrut:

$$Z = \left(\frac{a_m}{a} K \right)^{\frac{1}{e}} T^{-\frac{b}{e}} T_m^{\frac{b_m}{e}} Z_m^{\frac{e_m}{e}} \quad (3.46)$$

Ve zvláštním případě: $K = 1$; $T = T_m$; $Z \neq Z_m$

Cb) Predikční funkce typu $A(T; Z^*)$

Řešení: $A(T; Z^*) = K A_m(T_m; Z_m^*)$

$a \neq a_m$; $b \neq b_m$; $c \neq c_m$; $d \neq d_m$; $e \neq e_m$

Projektovaný zákrut:

$$Z = \left(\frac{a_m}{a} K \right)^{\frac{1}{e}} T^{-\frac{b}{e}} T_m^{\frac{b_m}{e}} (Z_m - c_m T_m^{d_m})^{\frac{e_m}{e}} + c T^d \quad (3.47)$$

Ve zvláštním případě: $K=1$; $T=T_m$; $Z \neq Z_m$

3.3.1 Projektování vlastností vlněné česané příze

Nyní s použitím obecných zákrutových funkcí (3.42) až (3.47) a číselných hodnot parametrů predikčních funkcí sledovaných veličin, uvedených v tabulce TAB.XXV, všechny vytypované alternativy projektování můžeme konkrétně řešit pro každý ze sledovaných druhů česaných přízí. Protože vlněné česané přízi byl v předložené práci věnován největší prostor, také obecné řešení projektování budeme aplikovat pouze na tuto přízi. Aplikaci obecného řešení na česané příze vl/PES (45/55) a ba (100) lze provést analogickým způsobem.

Při aplikování obecného řešení mezidruhového projektování podle alternativy C) místo obecného indexu m u veličin vl/PES (45/55) česané příze použijeme index T , odvozený od jejího obchodního názvu tesilová příze, u ba (100) česané příze index B .

Ve výsledcích pro každou sledovanou veličinu A vlněné česané příze uvedeme funkce projektovaného zákrutu, který kvantitativně podmiňuje buď její projektovanou hodnotu, anebo projektovaný násobek hodnoty této veličiny u jiné vlněné, konvertorové, nebo bavlněné česané příze. Pro potřeby projektování podle alternativy A) u každé projektované veličiny standardní vlněné česané příze, tudíž příze standardní jemnosti kroucené s intenzitou podle geometrického zákrutového standardu, uvedeme interval vymezený jejími extrémními hodnotami $A \in \langle A_{\min}; A_{\max} \rangle$. Z vyjmenovaného vyplývá, že pro každou sledovanou veličinu A vlněné česané příze budou uvedeny funkce projektovaného zákrutu, které v zápisu pro veličiny s predikční funkcí typu $A(T;Z)$, mají následující pořadí

$$\begin{aligned} Z &= Z(T; A) \\ A &\in \langle A_{\min}; A_{\max} \rangle \\ Z &= Z(K; T; T_1; Z_1) \\ Z &= Z(K; T; T_T; Z_T) \\ Z &= Z(K; T; T_B; Z_B) \end{aligned}$$

Projektování intenzity zákrutu κ

$$Z = 1,178 \cdot 10^4 T^{-0,575} \kappa^{1,329} \quad (3.48)$$

$$\kappa \in \langle 0,3320 ; 0,4606 \rangle$$

$$Z = K^{1,329} \left(\frac{T_1}{T} \right)^{0,575} Z_1 \quad (3.49)$$

$$Z = 1,437 K^{1,329} T^{-0,575} T_T^{0,554} Z_T^{0,955} \quad (3.50)$$

$$Z = 0,966 K^{1,329} T^{-0,575} T_B^{0,576} Z_B^{0,993} \quad (3.51)$$

Projektování průměru příze D [mm]

$$Z = 5,358 \cdot 10^{-3} T^{1,751} D^{-4,044} \quad (3.52)$$

$$D \in \langle 0,1914 ; 0,3687 \rangle \text{ mm}$$

$$Z = K^{-4,044} \left(\frac{T}{T_1} \right)^{1,751} Z_1 \quad (3.53)$$

$$Z = 0,331 K^{-4,044} T^{1,751} T_T^{-1,687} Z_T^{1,136} \quad (3.54)$$

$$Z = 1,112 K^{-4,044} T^{1,751} T_B^{-1,753} Z_B^{1,022} \quad (3.55)$$

Projektování seskání příze δ

$$Z = 4,718 \cdot 10^4 T^{-0,626} \delta^{0,702} \quad (3.56)$$

$$\delta \in \langle 2,09 \cdot 10^{-2} ; 4,22 \cdot 10^{-2} \rangle$$

$$Z = K^{0,702} \left(\frac{T_1}{T} \right)^{0,626} Z_1 \quad (3.57)$$

$$Z = 1,292 K^{0,702} T^{-0,626} T_T^{0,645} Z_T^{0,952} \quad (3.58)$$

$$Z = 1,01 K^{0,702} T^{-0,626} T_B^{0,629} Z_B^{0,992} \quad (3.59)$$

Při odvození zákrutových funkcí pro projektování seskání vlněné česané příze byla provedena metodicky stejná částečná eliminace vlivu přibližného řešení Schwarzovy konstanty jako v kapitole 3.2. Tímto způsobem byly zredukovány chyby ve stanovení projektovaného zákrutu podle vztahů (3.56) až (3.59) na hodnoty z intervalů seřazených v pořadí citovaných vztahů: $\delta Z \in \langle -1,24 ; 1,20 \rangle \%$, $\delta Z \in \langle -2,54 ; 2,61 \rangle \%$, $\delta Z \in \langle -3,50 ; 3,57 \rangle \%$ a $\delta Z \in \langle -2,62 ; 2,63 \rangle \%$.

Projektování zaplnění příze μ

$$Z = 1,141 \cdot 10^4 T^{-0,355} \mu^{2,631} + 76 T^{0,08} \quad (3.60)$$

$$\mu \in \langle 0,3519 ; 0,5183 \rangle$$

$$Z = K^{2,631} \left(\frac{T_1}{T} \right)^{0,355} (Z_1 - 76 T_1^{0,08}) + 76 T^{0,08} \quad (3.61)$$

$$Z = 0,255 K^{2,631} T^{-0,355} T_T^{0,435} (Z_T - 75 T_T^{0,062})^{1,161} + 76 T^{0,08} \quad (3.62)$$

$$Z = 4,057 K^{2,631} T^{-0,355} T_B^{0,234} (Z_B - 336 T_B^{-0,213})^{0,845} + 76 T^{0,08} \quad (3.63)$$

Projektování poměrného radiálního stlačení příze ε

$$Z = 1,159 \cdot 10^6 T^{-1,319} \varepsilon^{2,547} + 2624 T^{-0,687} \quad (3.64)$$

$$\varepsilon \in \langle 0,1286 ; 0,2820 \rangle$$

$$Z = K^{2,547} \left(\frac{T_1}{T} \right)^{1,319} (Z_1 - 2624 T_1^{-0,687}) + 2624 T^{-0,687} \quad (3.65)$$

$$Z = 2,681 K^{2,547} T^{-1,319} T_T^{1,186} (Z_T - 2695 T_T^{-0,688})^{0,963} + 2624 T^{-0,687} \quad (3.66)$$

$$Z = 6,633 K^{2,547} T^{-1,319} T_B^{1,176} (Z_B - 3020 T_B^{-0,682})^{0,782} + 2624 T^{-0,687} \quad (3.67)$$

Projektování intenzity zpevnění příze ψ

$$Z = 9,33 \cdot 10^4 T^{-0,832} \psi^{1,233} + 1298 T^{-0,556} \quad (3.68)$$

$$\psi \in \langle 0,0572 ; 0,1311 \rangle$$

$$Z = K^{1,233} \left(\frac{T_1}{T} \right)^{0,832} (Z_1 - 1298 T_1^{-0,556}) + 1298 T^{-0,556} \quad (3.69)$$

$$Z = 0,938 K^{1,233} T^{-0,832} T_T^{0,8} (Z_T - 1304 T_T^{-0,559})^{1,047} + 1298 T^{-0,556} \quad (3.70)$$

$$Z = 10,693 K^{1,233} T^{-0,832} T_B^{0,619} (Z_B - 2178 T_B^{-0,62})^{0,744} + 1298 T^{-0,556} \quad (3.71)$$

Reálnost zákrutové dimenze všech veličin projektovaných podle uvedených alternativ s výjimkou intenzity zákrutu κ , projektované podle Aa), je třeba testovat. Jako k testování nejvhodnější se jeví poměrná intenzita kroucení na bázi intenzity zákrutu jako funkce $\varphi(T; Z)$, která byla prezentována pod identifikačním číslem (3.6) ve tvaru

$$\varphi = 6,72 \cdot 10^{-3} T^{0,433} Z^{0,753} - 2,583$$

V uvedené testační funkci T je jemnost vlněné česané příze, jejíž standardní hodnoty pocházejí z intervalu $T \in \langle 16; 50 \rangle$ tex, symbolem Z jsou označeny projektované zákruty, vypočítané jako funkce $Z(T; A)$, $Z(K; T; T_1; Z_1)$, $Z(K; T; T_T; Z_T)$ nebo $Z(K; T; T_B; Z_B)$. Při reálném projektování vypočítaná hodnota poměrné intenzity kroucení pochází z intervalu $\varphi \in \langle 0; 1 \rangle$. Jako vedlejší produkt pozitivního testování podle testační funkce $\varphi(T; Z)$ je stanovení účelu použití projektované příze. Oborová norma ON 80 23620 [6] pro vlněné česané příze stanovuje následující přepočítané standardy jejich použití: $\varphi = 0$ a $\varphi = 0,2$ pro pletací, $\varphi = 0,4$ a $\varphi = 0,6$ pro útkové a $\varphi = 1$ pro osnovní příze.

4. ZÁVĚR

V závěrečné kapitole je provedeno shrnutí nejdůležitějších teoretických a v textilní praxi aplikovatelných poznatků obsažených v předložené práci. Toto resumé je strukturováno podle následujících hledisek

- nově definované veličiny a původní řešení
- teoretické poznatky prohlubující znalosti o procesu kroucení délkových vláknenných útvarů
- nové poznatky prohlubující znalosti o vlastnostech česaných stužek a přízí
- poznatky aplikovatelné v textilní praxi
- ▲ poznatky, které je třeba verifikovat a dále rozvíjet.

● Za nově definované budeme považovat takové veličiny, které se nevyskytují ve známých teoretických pracích o kroucení délkových textilií. V matematickém modelu monofilu tento charakter mají bezrozměrné koeficienty zákrutu α_h a α_l , z nichž první platí pro proces kroucení na zařízení s nastavitelnou odváděcí, druhý s nastavitelnou přiváděcí rychlostí. Výhodnost obou těchto koeficientů spočívá v jejich univerzálnosti, tudíž v obecné platnosti pro všechny materiálové druhy multifilů. Naproti tomu v matematickém modelu česaných přízí koeficient zákrutu α je ve shodě se zavedenou tradicí v jednotkách $\text{ktex}^q \text{m}^{-1}$ a exponent q je stanoven nejenom pro každý materiálový druh příze, ale netradičně také pro každou zkoumanou přízovou veličinu. Velikost příčných rozměrů všech délkových textilií objektivně vyjadřuje plošná jemnost $\tilde{T}$, v práci definovaná na bázi tisícínásobku substanční plochy vláken v radiálním řezu útvarem. Výhodnost této veličiny spočívá ve stejném řádu jejich hodnot jako u jemnosti T na bázi délkové hmotnosti. Mezi nově definované geometrické veličiny patří také ekvivalentní průměr D_0 a zaplnění μ_0 vláknenné stužky, ekvivalentní průměr D_p protažené předlohy, přiváděné do zkrucovací zóny prstencového doprādaciho stroje a přetvářecí zákrut $Z_0(T)$ jako funkce jemnosti příze. Při stavbě exaktního modelu pevnosti příze bylo také nutné definovat nové veličiny, jmenovitě modul radiální stlačitelnosti příze $E(\varepsilon)$, elementární třecí pevnost p_m a třecí pevnost P_t , poměrnou radiální stlačitelnost příze ε , intenzitu zpevnění ψ , rozměrový faktor vláken ϕ a koeficient pevnosti χ . V zájmu zjednodušení a vzájemné porovnatelnosti intenzita kroucení byla definována jako poměrná veličina se symboly φ_α , φ_F a φ_K na bázi koeficientů

zákrutu α s obecným exponentem kroucení q , α_F podle Phrixe a α_K podle Koechlina s exponenty kroucení $q_F = 2/3$ a $q_K = 1/2$. Standardní zákruty jako funkce vyjmenovaných poměrných intenzit kroucení byly označeny symboly Z_α , Z_F a Z_K . Nakonec byly definovány a k aplikaci v textilní praxi doporučeny buď geometrický zákrutový standard Z_φ s intenzitou zákrutu κ jako kritériem geometrické podobnosti přízí a poměrnou intenzitou kroucení φ jako bazickou veličinou, anebo fyzikální zákrutový standard Z_η s intenzitou zpevnění ψ jako kritériem fyzikální podobnosti přízí a poměrnou intenzitou kroucení η jako bazickou veličinou. Pro možnost porovnání kroučícího účinku na sledované druhy česaných přízí byly definovány srovnávací podmínky kroucení a také následující druhy efektivností kroucení: dílčí se symbolem DEK , fyzikální FEK , geometrická GEK , střední fyzikální $\overline{DEK}_f$, střední geometrická $\overline{DEK}_g$, střední geometrická a fyzikální $\overline{DEK}_{fg}$ a komplexní efektivnost kroucení příze KEK . Hodnocení těsnosti proložení regresní funkce experimentálními body bylo v práci rozšířeno o výpočet mezních hodnot bodové relativní chyby regrese R_a v procentech. Pro posouzení rozdílnosti dvou a více hodnot téže veličiny byl definován test RAGP, založený na významnosti rozdílu aritmetického a geometrického průměru množiny čísel. Nakonec mezi původní v práci provedená řešení nelze nezařadit model linearizované korelační regrese a model pevnosti příze.

○ Z teoretické analýzy vyplynulo, že pro tvar funkcí $\kappa(\alpha)$ a $\alpha(T;Z)$, jakož i pro hodnotu exponentu kroucení q , zásadní význam má otázka tuhosti, případně stlačitelnosti průřezu krouceného vlákenného útvaru, u svazků nekonečných vláken také konstrukce kroučícího zařízení z hlediska způsobu seřizování zákrutu. V práci byla experimentálně potvrzena hypotéza o konstantním průměru svazku nekonečných vláken, krouceného za běžných technologických podmínek. V důsledku této skutečnosti a v souladu s teoretickou predikcí u multifilu krouceného na zařízení s nastavitelnou odváděcí rychlostí funkce $\kappa(\alpha_h)$ je lineární a koeficient zákrutu α_h koechlinovský, univerzální a bezrozměrný. Pro multifil kroucený na zařízení s nastavitelnou přiváděcí rychlostí je optimální progresivně rostoucí regresní funkce $\kappa(\alpha_l)$ a koeficient zákrutu α_l je opět koechlinovský, univerzální a bezrozměrný, ale je funkcí latentního zákrutu Z_l , a tudíž implicitně také funkcí seskání δ . Společným specifickým koeficientů zákrutu α_h a α_l je jejich funkční závislost na jemnosti T_0 nezakrouceného multifilu.

Z teoretické analýzy intenzity kroucení staplových přízí, které při torzním namáhání vykazují radiální stlačení a axiální zkrácení, vyplynulo, že exponenty kroucení pocházejí

z intervalů $q_\kappa \in (1/2; 1)$ a $q_\mu \in (0; 1/2)$ a že regresní funkce $\kappa(\alpha)$ je mocninného typu s exponentem z intervalu $p_2 \in (1/2; 1)$, tudíž degresivně rostoucí v celém intervalu α . Z uvedených skutečností vyplývá, že κ a α nejsou veličiny proporcionální a z toho důvodu poměrné intenzity kroucení φ na bázi κ a φ_α na bázi α nejsou identické.

V kontrastu k již uvedené skutečnosti, že pro intenzitu kroucení bavlněné příze různí autoři doporučují jedenáct hodnot exponentu kroucení z intervalu $q \in (0,47; 0,785)$, v předložené práci pro tři materiálově rozdílné druhy česaných přízí pro tento exponent vypočteny hodnoty, jejichž aritmetický a geometrický průměr je stejný na čtyři desetinná místa, jmenovitě $\bar{q} = \overset{o}{q} = 0,5784$. Na základě uvedeného a ve smyslu testu RAGP exponent kroucení uvedené hodnoty můžeme s vysokou pravděpodobností deklarovat za společný pro intenzitu kroucení všech česaných přízí. Přadláckým specialistům je všeobecně známo, že všechny druhy česaných přízí se dopřádají výlučně na prstencových dopřádacích strojích, na nichž se příze tvoří zakrucováním vlákenné stužky s takzvaným pevným koncem. Na základě předpokladu, že princip tvorby příze má zásadní význam pro tvorbu její struktury a implicitně také pro exponent kroucení, vyslovme hypotézu, že jeho hodnota $q = 0,5784$ platí pro intenzitu kroucení všech staplových přízí dopřádaných na prstencových dopřádacích strojích.

Z regresních řešení pro sledované veličiny česaných přízí vypočteny dva typy funkcí. Pro intenzitu kroucení κ , průměr D a seskání δ přijatelnou predikční schopnost mají regresní funkce a jejich transformace

$$A = p_1 \alpha^{p_2}$$

$$A = a T^b Z^e$$

s typovým označením $A(\alpha)$ a $A(T; Z)$, přičemž pro koeficient zákrutu α platí definiční vztah

$$\alpha = T_k^q Z$$

Pro zaplnění μ , poměrné radiální stlačení ε a intenzitu zpevnění ψ česaných přízí optimální jsou regresní funkce a jejich transformace

$$A = p_1 [\alpha - \alpha_0(T_k)]^{p_2}$$

$$A = a T^b [Z - Z_0(T)]^e$$

s typovým označením $A(\alpha^*)$ a $A(T; Z^*)$, přičemž pro souřadnice posunutého počátku jako funkci jemnosti platí vztahy

$$\alpha_0(T_k) = K_z T_k^{q+z}$$

$$Z_0(T) = c T^d$$

Z uvedeného vyplývá, že oba dva typy regresních i transformovaných funkcí jsou funkce mocninné a že ve shodě se zavedenou tradicí v koeficientech zákrutu α i α^* figuruje jemnost T_k v kilotexech, kdežto v transformovaných funkcích $A(T; Z)$ a $A(T; Z^*)$ jemnost T je v texech. Dále je zřejmé, že jestliže regresní parametr $p_2 > 0$, potom typ $A(\alpha)$ je 2D regresní funkce procházející počátkem, její transformace $A(T; Z)$ je množina funkcí procházející počátkem, nespojitá jemnost T je jejich parametrem. Naproti tomu regresní typ $A(\alpha^*)$ je množina funkcí s posunutým počátkem o $\alpha_0(T_k)$, jejichž těsnost proložení v intervalu α , vymezeném okrajovými podmínkami kroucení daného druhu příze, odpovídá hodnotám testačních charakteristik příslušné regrese. Transformovaný typ $A(T; Z^*)$ je množina funkcí s posunutým počátkem o $Z_0(T)$ na ose zákrutu, nespojitá jemnost T je jejich parametrem.

Z porovnání hodnot testačních charakteristik, jakož i z vizuálního porovnání trendu pomyslných spojnic experimentálních bodů, vyneseny v příslušných grafech, vyplývá, že každá z hledaných funkcí typu $A(\alpha^*)$ má lepší predikční schopnost i těsnost proložení než funkce typu $A(\alpha)$. Protože v regresním modelu typu $A(\alpha^*)$ je implicitně obsažen zákrut $Z_0(T)$, potřebný na přetvoření vláknenné stužky na útvar kruhového průřezu, vyslovme tuto hypotézu: regresní model typu $A(\alpha^*)$ je optimální pro všechny vyjmenované veličiny $(\kappa, D, \delta, \mu, \varepsilon, \psi)$ nejenom česaných přízí, ale také přízí všech druhů vyrobených z vláknenné stužky kroucením s takzvaným pevným koncem.

Z regresních řešení pro ekvivalentní průměr D_0 a zaplnění μ_0 vláknenných stužek, ze kterých se na prstencovém doprácím stroji vyřádají česané příze, jako optimální vyplynuly mocninné regresní funkce jedné proměnné typu $A(T)$ ve tvaru

$$A = p_1 T^{p_2}$$

Bezrozměrné regresní parametry q, z a p_2 jsou implicitně nebo explicitně obsaženy v regresních funkcích sledovaných veličin česaných přízí a vláknenných stužek

v roli exponentů nezávisle proměnných. V transformovaných funkcích $A(T;Z)$ a $A(T;Z^*)$, použitých v aplikační části práce, pro vyjmenované regresní parametry byla použita substituce $q=b/e$, $z=d$, a $p_2=e$. Protože regresní i transformované funkce jsou vesměs mocninného typu jedné nebo dvou proměnných, znaménko a poloha číselné hodnoty exponentu vzhledem k intervalům $(-1;0)$, $(0;1)$, $(-\infty;-1)$ a $(1;\infty)$ má zásadní význam pro jejich průběh.

Intervaly číselných hodnot regresních parametrů q , z , a p_2 obsažených v regresních funkcích $\kappa(\alpha), D(\alpha), \delta(\alpha), \mu(\alpha^*), \varepsilon(\alpha^*)$ a $\psi(\alpha^*)$ česaných přízí a parametru p_2 v regresních funkcích $D_0(T)$ a $\mu_0(T)$ vlákenných stužek, jsou souhrnně obsaženy v tabulce TAB XXVI.

TAB. XXVI

Regresní parametr	Regresní funkce	Druh příze a vlákenné stužky		
		vl (100)	vl/PES (45/55)	ba (100)
q	$\kappa(\alpha), \delta(\alpha), \mu(\alpha^*), \psi(\underline{\alpha}^*)$	$(0;1)$		
	$D(\alpha)$	$(-\infty;-1)$		
	$\varepsilon(\alpha)$	$(1;\infty)$		
z	$\mu(\alpha^*)$	$(0;1)$	$(-1;0)$	
	$\varepsilon(\alpha^*), \psi(\alpha^*)$	$(-1;0)$		
p_2	$\kappa(\alpha), \mu(\alpha^*), \varepsilon(\alpha^*), \psi(\alpha^*)$	$(0;1)$		
	$D(\alpha)$	$(-\infty;-1)$		
	$\delta(\alpha)$	$(1;\infty)$		
p_2	$D_0(T)$	$(0;1)$		
	$\mu_0(T)$	$(-1;0)$		

V transformovaných funkcích $\mu(T;Z^*), \varepsilon(T;Z^*)$ a $\psi(T;Z^*)$ česaných přízí je obsažen přetvářecí zákrut $Z_0(T)$, který je potřebný na přetvoření vlákenné stužky na útvar kruhového průřezu; přetvářecí zákrut podmiňuje buď minimální hodnotu zaplnění (fiktivně

nulovou) vzniklého kruhového útvaru, nebo nulové poměrné radiální stlačení jeho průřezu, tudíž také nulové zpevnění.

Relaci mezi úhlem stoupání šroubovicových ovinů reálného a fiktivního povrchového vlákna krouceného útvaru přibližně řeší v teorii doposud používaná Schwarzova konstanta, odvozená před téměř sedmdesáti lety. V práci bylo prokázáno, že aplikace tohoto přibližného řešení způsobuje chyby větší než 10% a že ho nelze používat v náročných teoretických pracích.

Z bodové analýzy i z plošné bilance standardních zákrutů Z_F na bázi koeficientu zákrutu α_F podle Phrixe a zákrutů Z_K na bázi α_K podle Koechlina vyplynulo, že nelze akceptovat názor těch praktiků, kteří bagatelizují vliv použitého zákrutového standardu na užité vlastnosti plošných textilií, ani názor některých teoretiků, že při aplikaci standardu Z_F se tenkým přízím uděluje větší počet zákrutů než podle standardu Z_K . Z provedené analýzy dále vyplynulo, že vl(100) česaným přízím se celoplošně udělí o 2,91% více zákrutů Z_F než Z_K , přičemž ale pletacím přízím o 4,25 % méně, útkovým o 3,28% a osnovním o 8,87 % více, tudíž tkaninám celkem o 12,15% více zákrutů Z_F než Z_K . Z uvedeného je zřejmé, že při aplikaci zákrutového standardu na bázi α_F vzhledem ke standardu na bázi α_K jsou pletací příze podkroucené a útkové a osnovní překroucené, v důsledku čehož pleteniny vyrobené z těchto přízí jsou měkčí a tkaniny tvrdší. Protože větší počet celoplošných zákrutů i tvrdost tkanin působí negativně na nákladovou stránku výroby i konkurenceschopnost výrobků a argumenty o větším zpevnění tenkých přízí při aplikaci zákrutů Z_F vyzněly nepřesvědčivě, není jediný racionální důvod na podporu používání koeficientu zákrutu α_F jako báze zákrutového standardu. Vedle těchto skutečností v předložené práci bylo také prokázáno, že česané příze zakroucené se stejnou poměrnou intenzitou kroucení φ_F na bázi α_F , nebo φ_K na bázi α_K , nemají stejný úhel stoupání fiktivního povrchového vlákna, tudíž nejsou geometricky podobné a nejsou ani stejně intenzivně zpevněné, čili fyzikálně podobné, jak se mylně domnívá řada textilních specialistů.

■ Nové poznatky o vlastnostech česaných vlákenných stužek sledovaných materiálových druhů a přízí z nich vyrobených vyplynuly z porovnání geometrických a fyzikálních veličin těchto útvarů, virtuálně vyrobených za stejných srovnávacích podmínek, jmenovitě: při stejné jemnosti T na bázi délkové hmotnosti (izotexové útvary), při stejné plošné jemnosti $\tilde{T}$ (izoplošné útvary) a u přízí také při stejném zákrutu Z .

Hodnoty ekvivalentního průměru D_0 ani zaplnění μ_0 sledovaných izotexových stužek nejsou srovnatelné na bázi testu RAGP zejména z důvodu významně rozdílných

hodnot hustoty ρ vláken. Naproti tomu radiálně izoplošné stužky mají tyto hodnoty srovnatelné u manipulací vl/PES (45/55) a ba(100). Z uvedené skutečnosti vyplývá, že přírodní objemnost bavlněné stužky je srovnatelná s objemností izoplošné vlákenné stužky manipulace vl/PES (45/55), u které objemnost polyesterového podílu je způsobena umělým zkadeřením. Vlněná izoplošná vlákenná stužka má ze všech sledovaných manipulací největší zaplnění a tudíž nejmenší objemnost a chlupatost. Analýzou byla rovněž potvrzena známá skutečnost, že zaplnění vlákenných stužek se s jejich tloušťkou zmenšuje.

Z porovnání sledovaných česaných přízí na bázi přetvářecích zákrutů vyplynulo, že jejich počet je srovnatelný a menší u manipulace vl(100) a vl (45/55) než u ba (100). Z této skutečnosti je zřejmé, že počet zákrutů, potřebný na přetvoření vlákenné stužky na útvar kruhového průřezu, je nepřímo úměrný délce staplu přídní suroviny.

Kvantitativní srovnávací analýza prokázala, že izoplošné česané příze, virtuálně vyrobené za stejných srovnávacích podmínek, nabývají srovnatelných hodnot intenzity zákrutu κ , úhlu stoupání ovinů fiktivního povrchového vlákna β_D a průměru D ; u izotexových přízí ke stejné srovnatelnosti dochází pouze u materiálových druhů se srovnatelnou hustotou ρ vláken. Toto zjištění opětovně potvrzuje, že pro textilní teorii i praxi by bylo výhodné jemnost délkových vlákenných útvarů definovat jako veličinu geometrickou, tudíž jako násobek substanční plochy.

V předložené práci veličinám κ, β_D, β_d a D byl přiřazen název geometrické, veličinám δ, μ, ε a ψ fyzikální. V analogickém členění byly definovány efektivnosti kroucení v pořadí geometrická se zkratkou GEK, fyzikální FEK a také komplexní KEK, jak je detailně popsáno v příslušné kapitole.

Analýza na bázi efektivnosti kroucení prokázala, že z izotexových česaných přízí nejlepší efektivnost kroucení vykazuje konvertorová vl/PES (45/55) příze, potom vlněná a nejhorší příze bavlněná. Z uvedeného vyplývá, že spřadatelnost přídní směsi vl/PES (45/55) vzhledem ke spřadatenosti vlny se zlepšila přimísením zkadeřeného polyesterového podílu. Naproti tomu z izoplošných virtuálních výpředů nejlepší efektivnost kroucení vykazuje bavlněná příze, nejhorší vlněná, což svědčí o lepší spřadatelnosti bavlny než vlny. Protichůdnost hodnocení spřadatelnosti izotexových a izoplošných přízí je způsobena významně rozdílnou hustotou ρ vlněných a bavlněných vláken. Protože plošná jemnost není funkcí hustoty vláken, objektivní hodnocení vlastností vlákenné hmoty je možno pouze na bázi porovnání radiálně stejnoplošných přízí. Provedená analýza opět potvrdila přednosti plošné jemnosti délkových textilií.

□ Teoretické poznatky z předložené práce lze v textilní praxi využít ke stanovení zákrutových standardů, k predikci hodnot veličin charakterizujících geometrický nebo fyzikální stav příze a k projektování vlastností česaných přízí. Vyjmenované aplikace byly

v práci zpracovány do použitelného tvaru pouze pro vl(100) česanou přízi. Analogickým postupem a stejnou metodikou lze tuto problematiku zpracovat také pro vl/PES (45/55) a ba(100) česané příze.

Zákrutový standard můžeme definovat jako algoritmus stanovení takového počtu zákrutů, při kterém příze rozdílných jemností, určené ke stejnému účelu použití, nabývají stejnou hodnotu zvolené bazické veličiny. Veličina, v práci definovaná jako podíl délky dílčího intervalu, vymezené žádanou hodnotou bazické veličiny a délky celého intervalu jejich hodnot, byla pojmenována jako poměrná intenzita kroucení. Výhodou tohoto poměrného vyjádření je možnost porovnání intenzity kroucení na rozdílných bázích. Z uvedených skutečností vyplývá, že standardní zákrut je složenou funkcí jemnosti příze a poměrné intenzity kroucení jako funkce bazické veličiny a že poměrná intenzita kroucení nabývá hodnoty z intervalu $\langle 0; 1 \rangle$. V oborové normě [6] jsou standardní zákruty vl(100) česané příze rozděleny do pěti takzvaných řad zákrutů, pro které je stanovena poměrná intenzita kroucení na bázi koeficientu zákrutu α_F v pořadí : 0; 0,2; 0,4; 0,6; 1.

Nejstarší zákrutový standard, který se používá doposud, je na bázi koeficientu zákrutu α_K podle Koechlina. Tento standard je deklarativně geometrický a obecně platný, ale jeho objektivní platnost je podmíněna linearitou funkční závislosti $\kappa(\alpha_K)$ a tuhostí radiálního průřezu délkového vláknenného útvaru. Jak ukázaly výsledky předložené práce, uvedené předpoklady částečně splňuje multifil, staplová příze nikoliv. U více než sto let mladšího zákrutového standardu je bazickou veličinou empirický koeficient zákrutu α_F podle Phrixe, který byl k nám importován v průběhu druhé světové války a také se doposud používá. S použitím vymezujících ustanovení zákrutového standardu podle oborové normy [6] a funkcí bazických veličin κ a ψ , obsažených v matematickém modelu vl(100) příze, v předložené práci byly stanoveny teoreticky zdůvodněné zákrutové standardy geometrický na bázi intenzity zákrutu κ a fyzikální na bázi intenzity zpevnění ψ . Při zanedbání nevýznamných zákrutových odchylek lze aplikovat také geometrický standard na bázi koeficientu zákrutu α s exponentem kroucení $q = 0,5784$, platným pro všechny česané příze.

Ze vzájemného kvantitativního porovnání zákrutových standardů na bazických veličinách α_F , α_K , κ a ψ vyplynuly následující závěry

- vl(100) česané příze, vypřádané podle zákrutových standardů na bázi koeficientů zákrutu α_F nebo α_K , nelze deklarovat za geometricky ani fyzikálně podobné;
- vl(100) česané příze, vypřádané podle geometrického zákrutového standardu, nelze deklarovat za fyzikálně podobné a naopak;

– z důvodu relativně většího zpevnění tenkých přízí pro vl(100) česané příze doporučuji fyzikální zákrutový standard.

Predikční funkce veličin, popisujících geometrický nebo fyzikální stav, případně vlastnost daného druhu příze, slouží k výpočtu hodnot, kterých nabývá proměnná veličina A v závislosti na hodnotách veličin nezávisle proměnných. Nezávisle proměnnými veličinami přízí stejného materiálového druhu je jemnost a zákrut, případně jemnost a různě definovaná intenzita kroucení. Pro textilní teorii i praxi jako nejvhodnější se jeví funkční závislost přízových veličin na jemnosti a zákrutu, jemnosti a poměrné intenzitě kroucení φ na bázi κ , nebo na jemnosti příze a poměrné intenzitě kroucení η na bázi intenzity zpevnění ψ , tudíž predikční funkce

$$A = A(T; Z);$$

$$A = A(T; \varphi);$$

$$A = A(T; \eta)$$

Výjimku tvoří pouze predikční funkce bazických veličin $\kappa = \kappa(\varphi)$ a $\psi = \psi(\eta)$.

V předložené práci jsou do použitelného tvaru zpracovány vyjmenované predikční funkce veličin v pořadí $\kappa, D, \delta, \mu, \varepsilon$ a ψ pouze pro vl(100) česané příze.

Projektování vlastností příze lze definovat jako stanovení takového zákrutu, při kterém veličina, která je nositelkou projektované vlastnosti nebo stavu příze, nabývá žádanou hodnotu. Z uvedeného plyne, že předmětem projektování je žádaná hodnota projektované veličiny, jeho nástrojem je potřebný zákrut, který tuto hodnotu u daného druhu příze podmiňuje.

V práci je provedeno obecné řešení problematiky projektování vlastností přízí stejného technologického a rozdílného materiálového druhu v závislosti na možných způsobech dimenzování veličin a při zohlednění obou typů regresních funkcí sledovaných veličin. Dosazením parametrů funkcí obsažených v matematických modelech sledovaných přízí do obecného řešení byly odvozeny vztahy pro stanovení zákrutu podmiňujícího projektovanou hodnotu veličin $\kappa, D, \delta, \mu, \varepsilon$ a ψ vlněných česaných přízí. Česané příze manipulací vl/PES (45/55) a ba(100) při projektování vlastností vl(100) česané příze figurují jako vztažné. K testování reálnosti hodnoty stanoveného projektovaného zákrutu je doporučena poměrná intenzita kroucení φ na bázi κ a její testační funkce $\varphi(T; Z)$. V práci byla odvozena také alternativní testační funkce $\eta(T; Z)$ na bázi intenzity zpevnění ψ .

▲ V předložené práci byly vysloveny hypotézy zobecňující platnost některých nových poznatků, dále byly zjištěny poměrně významné chyby způsobené přibližným řešením Schwarzovy konstanty a nakonec aplikace modelu pevnosti staplové příze byla provedena jenom částečně.

Hypotézy, zobecňující platnost hodnoty exponentu $q = 0,5784$ pro všechny příze vyprádané z vlákně stužky a platnost regresního modelu typu $A(\alpha^*)$ pro všechny veličiny těchto přízí, mají oporu v existenci matematicky identifikovaného přetvářecího zákřutu, potřebného k přetvoření vlákně stužky na délkový útvar kruhového průřezu. Způsob verifikace těchto hypotéz je v práci popsán, do ověřovacího programu by bylo možné zahrnout také kompaktní přízi.

V přibližném řešení Schwarzovy konstanty, která je definována jako podíl průměrů ovinování reálného a fiktivního povrchového vlákna, je průměr délkového vlákněho útvaru nahrazen jeho substančním průměrem. V důsledku tohoto zjednodušení Schwarzova konstanta k je funkcí pouze jemnosti příze T a elementárních vláken t , nebo pouze počtu vláken n . Protože reálný průměr standardní příze je také funkcí zákřutu Z , Schwarzovu konstantu jako složenou funkci $k[T; t(T); Z]$ je třeba fenomenologicky stanovit pro každý materiálový druh česaných přízí.

Z prezentovaného modelu vyplývá, že pevnost staplové příze je funkcí součinu rozměrové konstanty p_1 , mocniny rozměrového faktoru vláken ϕ a mocniny intenzity zpevnění ψ . V rozměrové konstantě je obsažen vliv technologie předení, fyzikálních vlastností vláken a plochy mezivlákněných kontaktů na pevnost staplové příze, v rozměrovém faktoru vláken vliv jejich geometrických rozměrů a v intenzitě zpevnění vliv délkové a radiální deformace a zaplnění příze. Z uvedeného vyplývá, že na intenzitě zakroucení příze je závislá pouze intenzita zpevnění ψ , jejíž regresní funkce byly v předložené práci stanoveny pro každou ze sledovaných česaných přízí. Stanovení parametrů regresních funkcí pevnosti česaných přízí a verifikace prezentovaného modelu pevnosti staplových přízí by již přerostlo obvyklý rozsah habilitační práce. Pro tato řešení byl v příslušné kapitole poměrně podrobně popsán metodický postup.

Vyjmenované nedorozumění problémy představují vhodné náměty pro zadání doktorských nebo náročnějších diplomových prací. Výsledky těchto prací mohou přispět k dalšímu prohloubení teoretických znalostí o procesu kroucení staplových přízí, případně k rozšíření matematických modelů česaných přízí o funkce jejich pevnosti.

5. PŘÍLOHY

Tabulky: Tab. 1 až Tab. 21

Grafy: Graf 1 až Graf 21

PAD_h 40 tex/72f

Tab.1

$Z_l [m^{-1}]$	200	400	600	800	1000	1100
$\beta [^\circ]$	7,6717	15,1400	22,4950	30,9800	39,6192	42,8000
$\partial\beta [\%]$	2,7900	1,5000	0,9100	0,5800	0,6500	0,6800
$tg\beta [l]$	0,1347	0,2706	0,4141	0,6004	0,8278	0,9260
$\delta [l]$	0,0053	0,0221	0,0523	0,1016	0,1702	0,2037
$\partial\delta [\%]$	1,3600	0,5600	0,4400	0,5500	0,4100	0,5000
$Z [m^{-1}]$	201,0657	409,0398	633,1117	890,4720	1205,1097	1381,3889
$T [tex]$	40,2131	40,9040	42,2075	44,5236	48,2044	50,2323
$\kappa [l]$	0,1521	0,3094	0,4789	0,6736	0,9117	1,0450
$\alpha_K [ktex^{1/2}m^{-1}]$	40,3201	82,7272	130,0694	187,8951	264,5879	309,6047
$\tilde{\alpha}_K [l]$	37,5987	77,1435	121,2904	175,2131	246,7295	288,7078
$\alpha_h [l]$	37,4989	76,2863	118,0759	166,0739	224,7541	257,6304
$\alpha_l [l]$	37,3002	74,6004	111,9006	149,2008	186,5010	205,1511
$tg\beta_d [l]$	0,1365	0,2776	0,4297	0,6043	0,8179	0,9375

PAD_h 10 tex/18f

Tab.2

$Z_l [m^{-1}]$	400	800	1200	1600	2000	2200
$\beta [^\circ]$	6,4983	14,3150	21,5517	28,7373	37,0629	40,7117
$\partial\beta [\%]$	2,4100	1,4300	1,0700	0,5500	0,8300	0,7000
$tg\beta [l]$	0,1139	0,2552	0,3950	0,5483	0,7553	0,8605
$\delta [l]$	0,0051	0,0208	0,0503	0,0999	0,1677	0,2028
$\partial\delta [\%]$	0,9700	0,7300	0,3200	0,2900	0,3100	0,4600
$Z [m^{-1}]$	402,0505	816,9935	1263,5569	1777,5803	2402,9797	2759,6588
$T [tex]$	10,0513	10,2124	10,5296	11,1099	12,0149	12,5439
$\kappa [l]$	0,1521	0,3090	0,4779	0,6724	0,9089	1,0438
$\alpha_K [ktex^{1/2}m^{-1}]$	40,3080	82,5625	129,6584	187,3632	263,3966	309,0806
$\tilde{\alpha}_K [l]$	37,5874	76,9899	120,9071	174,7171	245,6186	288,2191
$\alpha_h [l]$	37,4914	76,1850	117,8273	165,7602	224,0790	257,3395
$\alpha_l [l]$	37,3000	74,6004	111,9006	149,2008	186,5010	205,1511
$tg\beta_d [l]$	0,1208	0,2454	0,3795	0,5339	0,7218	0,8289

PAD_h 40 tex/18f

Tab.3

$Z_l [m^{-1}]$	200	400	600	800	1000
$\beta [^\circ]$	6,5083	13,6833	20,0817	28,3783	35,5617
$\partial\beta [\%]$	2,3200	1,2600	0,7400	0,8600	0,5000
$tg\beta [l]$	0,1141	0,2435	0,3656	0,5402	0,7149
$\delta [l]$	0,0040	0,0173	0,0443	0,0898	0,1553
$\partial\delta [\%]$	3,0100	1,2200	0,7800	0,5000	0,5300
$Z [m^{-1}]$	200,8032	407,0418	627,8121	878,9277	1183,8523
$T [tex]$	40,1606	40,7042	41,8541	43,9464	47,3541
$\kappa [l]$	0,1519	0,3079	0,4749	0,6649	0,8956
$\alpha_K [ktex^{1/2}m^{-1}]$	40,2412	82,1218	128,4400	184,2531	257,6181
$\tilde{\alpha}_K [l]$	37,5251	76,5790	119,7705	171,8169	240,2301
$\alpha_h [l]$	37,4500	75,9137	117,0876	163,9209	220,7896
$\alpha_l [l]$	37,3002	74,6004	111,9006	149,2008	186,5010
$tg\beta_d [l]$	0,1206	0,2445	0,3772	0,5280	0,7112

VS_h 11,11 tex/40f

Tab.4

$Z_l [m^{-1}]$	380	758	1138	1518	1898	2088
$\beta [^\circ]$	6,6967	13,2183	20,1550	26,8667	33,6750	37,2417
$\partial\beta [\%]$	1,8800	1,2600	0,8500	1,1700	0,5500	0,5400
$tg\beta [l]$	0,1174	0,2349	0,3670	0,5066	0,6663	0,7602
$\delta [l]$	0,0071	0,0245	0,0532	0,0934	0,1429	0,1703
$\partial\delta [\%]$	1,0900	0,7300	0,5600	0,4300	0,4100	0,2900
$Z [m^{-1}]$	382,7173	777,0374	1201,9434	1674,3878	2214,4441	2516,5723
$T [tex]$	11,1906	11,3902	11,7354	12,2558	12,9636	13,3917
$\kappa [l]$	0,1332	0,2705	0,4184	0,5828	0,7708	0,8760
$\alpha_K [ktex^{1/2}m^{-1}]$	40,4860	82,9292	130,2066	185,3646	252,1317	291,2241
$\tilde{\alpha}_K [l]$	32,9470	67,4868	105,9606	150,8476	205,1819	236,9948
$\alpha_h [l]$	32,8298	66,6549	103,1037	143,6304	189,9569	215,8737
$\alpha_l [l]$	32,5967	65,0219	97,6186	130,2153	162,8120	179,1104
$tg\beta_d [l]$	0,1148	0,2330	0,3605	0,5022	0,6641	0,7547

POP_h 6,67 tex/20f

Tab.5

$Z_l [m^{-1}]$	500	980	1470	1960
$\beta [^\circ]$	7,9750	15,6517	24,1450	33,2350
$\partial\beta [\%]$	2,5200	1,2300	0,7200	0,7300
$\text{tg}\beta [l]$	0,1401	0,2802	0,4483	0,6553
$\delta [l]$	0,0077	0,0313	0,0764	0,1511
$\partial\delta [\%]$	0,4900	0,5900	0,5300	0,5400
$Z [m^{-1}]$	503,8799	1011,6651	1591,5981	2308,8703
$T [\text{tex}]$	6,7184	6,8821	7,2181	7,8533
$\kappa [l]$	0,1751	0,3515	0,5530	0,8022
$\alpha_K [\text{ktex}^{1/2} m^{-1}]$	41,3010	83,9261	135,2213	204,6095
$\tilde{\alpha}_K [l]$	43,2952	87,9785	141,7504	214,4890
$\alpha_h [l]$	43,1281	86,5905	136,2282	197,6211
$\alpha_l [l]$	42,7960	83,8803	125,8204	167,7605
$\text{tg}\beta_d [l]$	0,1408	0,2826	0,4447	0,6450

PES_h 16,67 tex/36f

Tab. 6

$Z_l [m^{-1}]$	310	620	930	1240	1550	1704
$\beta [^\circ]$	6,4700	13,2400	20,0900	27,2513	34,6572	38,3017
$\partial\beta [\%]$	1,5900	1,1900	1,2900	0,8700	0,5000	0,4800
$\text{tg}\beta [l]$	0,1134	0,2353	0,3658	0,5151	0,6913	0,7898
$\delta [l]$	0,0048	0,0195	0,0496	0,0963	0,1607	0,1971
$\partial\delta [\%]$	2,4300	0,9100	0,5300	0,3700	0,3500	0,3400
$Z [m^{-1}]$	311,4952	632,3304	978,5354	1372,1368	1846,7771	2122,3066
$T [\text{tex}]$	16,7471	16,9981	17,5365	18,4427	19,8578	20,7581
$\kappa [l]$	0,1389	0,2819	0,4362	0,6117	0,8233	0,9461
$\alpha_K [\text{ktex}^{1/2} m^{-1}]$	40,3108	82,4412	129,5830	186,3416	260,2436	305,7749
$\tilde{\alpha}_K [l]$	34,3148	70,1786	110,3084	158,6245	221,5341	260,2929
$\alpha_h [l]$	34,2323	69,4911	107,5379	150,7934	202,9548	233,2346
$\alpha_l [l]$	34,0680	68,1360	102,2040	136,2720	170,3400	187,2641
$\text{tg}\beta_d [l]$	0,1186	0,2408	0,3727	0,5226	0,7034	0,8084

Tab. 7a

vl (100)

$\alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$	$T [\text{tex}]$	$D [\text{mm}]$	$\mu [\text{l}]$	$Z [\text{m}^{-1}]$	$\kappa [\text{l}]$
35	16	0,1897	0,4321	551,2150	0,3285
	18	0,2035	0,4225	509,5895	0,3258
	20	0,2167	0,4139	475,0235	0,3234
	22	0,2299	0,4046	445,7775	0,3220
	24	0,2423	0,3973	420,6545	0,3202
	26	0,2545	0,3902	398,7970	0,3188
	28	0,2663	0,3838	379,5750	0,3176
	30	0,2779	0,3776	362,5090	0,3165
	32	0,2892	0,3719	347,2441	0,3155
	34	0,3004	0,3662	333,4895	0,3147
	36	0,3112	0,3613	321,0207	0,3139
	38	0,3219	0,3564	309,6559	0,3131
	40	0,3324	0,3519	299,2458	0,3125
	42	0,3427	0,3476	289,6691	0,3119
	44	0,3528	0,3436	280,8232	0,3113
	46	0,3628	0,3397	272,6234	0,3107
	48	0,3727	0,3359	264,9969	0,3103
	50	0,3825	0,3322	257,8825	0,3099
40	16	0,1845	0,4568	629,9609	0,3651
	18	0,1979	0,4469	582,3874	0,3621
	20	0,2107	0,4379	542,8840	0,3594
	22	0,2231	0,4297	509,4600	0,3571
	24	0,2351	0,4222	480,7480	0,3551
	26	0,2467	0,4152	455,7680	0,3532
	28	0,2580	0,4087	433,8000	0,3516
	30	0,2691	0,4027	414,2960	0,3503
	32	0,2799	0,3970	396,8500	0,3490
	34	0,2905	0,3916	381,1308	0,3478
	36	0,3008	0,3866	366,8808	0,3467
	38	0,3110	0,3818	353,8924	0,3458
	40	0,3210	0,3773	341,9952	0,3449
	42	0,3308	0,3730	331,0504	0,3440
	44	0,3405	0,3688	320,9408	0,3433
	46	0,3500	0,3649	311,5702	0,3426
	48	0,3594	0,3612	302,8536	0,3420
	50	0,3687	0,3576	294,7223	0,3414

$\alpha_F[\text{ktex}^{2/3}\text{m}^{-1}]$	$T[\text{tex}]$	$D[\text{mm}]$	$\mu[\text{l}]$	$Z[\text{m}^{-1}]$	$\kappa[\text{l}]$
45	16	0,1800	0,4799	708,7061	0,4008
	18	0,1929	0,4704	655,1859	0,3971
	20	0,2052	0,4617	610,7442	0,3937
	22	0,2171	0,4538	573,1447	0,3920
	24	0,2286	0,4464	540,8415	0,3884
	26	0,2397	0,4396	512,7390	0,3861
	28	0,2506	0,4333	488,0250	0,3842
	30	0,2612	0,4273	466,0830	0,3825
	32	0,2716	0,4218	446,4567	0,3809
	34	0,2817	0,4165	428,7722	0,3795
	36	0,2916	0,4115	412,7409	0,3781
	38	0,3013	0,4067	398,1290	0,3769
	40	0,3109	0,4022	384,7446	0,3758
	42	0,3203	0,3979	372,4317	0,3748
	44	0,3295	0,3938	361,0584	0,3738
	46	0,3386	0,3899	350,5158	0,3729
	48	0,3476	0,3861	340,7103	0,3721
	50	0,3564	0,3825	331,5632	0,3712
50	16	0,1764	0,4999	787,4512	0,4364
	18	0,1888	0,4907	727,9850	0,4318
	20	0,2008	0,4823	678,6050	0,4281
	22	0,2122	0,4747	636,8250	0,4245
	24	0,2234	0,4675	600,9350	0,4218
	26	0,2341	0,4609	569,7100	0,4190
	28	0,2446	0,4548	542,2500	0,4167
	30	0,2548	0,4490	517,8700	0,4145
	32	0,2648	0,4435	496,0630	0,4127
	34	0,2746	0,4383	476,4135	0,4110
	36	0,2841	0,4334	458,6010	0,4093
	38	0,2935	0,4288	442,3655	0,4079
	40	0,3027	0,4243	427,4940	0,4065
	42	0,3117	0,4201	413,8130	0,4052
	44	0,3206	0,4160	401,1760	0,4041
	46	0,3294	0,4122	389,4620	0,4030
	48	0,338	0,4084	378,5670	0,4018
	50	0,3465	0,4048	368,4035	0,4010

Tab. 7c

vl (100)

$\alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$	$T [\text{tex}]$	$D [\text{mm}]$	$\mu [\text{l}]$	$Z [\text{m}^{-1}]$	$\kappa [\text{l}]$
55	16	0,1728	0,5208	866,1950	0,4702
	18	0,1850	0,5112	800,7835	0,4654
	20	0,1966	0,5029	746,4655	0,4610
	22	0,2077	0,4957	700,5075	0,4571
	24	0,2185	0,4886	661,0285	0,4538
	26	0,2289	0,4823	626,6810	0,4507
	28	0,2390	0,4764	596,4750	0,4479
	30	0,2488	0,4710	569,6570	0,4453
	32	0,2586	0,4654	545,6693	0,4431
	34	0,2680	0,4601	524,0549	0,4412
	36	0,2772	0,4554	504,4611	0,4393
	38	0,2862	0,4509	486,6021	0,4375
	40	0,2951	0,4464	470,2434	0,4360
	42	0,3038	0,4423	455,1943	0,4344
	44	0,3123	0,4385	441,2936	0,4330
	46	0,3209	0,4342	428,4082	0,4319
	48	0,3291	0,4307	416,4237	0,4305
	50	0,3372	0,4274	405,2439	0,4293
60	16	0,1698	0,5394	944,9400	0,5041
	18	0,1816	0,5305	873,5820	0,4984
	20	0,1929	0,5224	814,3260	0,4935
	22	0,2036	0,5158	764,1900	0,4888
	24	0,2141	0,5089	721,1220	0,4850
	26	0,2242	0,5027	683,6520	0,4815
	28	0,2341	0,4966	650,7000	0,4786
	30	0,2435	0,4918	621,4440	0,4754
	32	0,2529	0,4863	595,2756	0,4730
	34	0,2622	0,4807	571,6962	0,4709
	36	0,2711	0,4761	550,3212	0,4687
	38	0,2798	0,4718	530,8386	0,4666
	40	0,2885	0,4671	512,9928	0,4650
	42	0,2968	0,4634	496,5756	0,4630
	44	0,305	0,4597	481,4112	0,4613
	46	0,3133	0,4555	467,3544	0,4600
	48	0,3213	0,4519	454,2804	0,4585
	50	0,3292	0,4484	442,0842	0,4572

T[tex]	$\alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$					
	35	40	45	50	55	60
	$\delta \cdot 10^2 [\%]$					
16	1,8631	2,2818	2,7251	3,1992	3,6774	4,1825
18	1,8471	2,2624	2,6967	3,1584	3,6289	4,1244
20	1,8333	2,2453	2,6709	3,1284	3,5930	4,0763
22	1,8297	2,2320	2,6657	3,0984	3,5585	4,0295
24	1,8209	2,2213	2,6350	3,0794	3,5312	3,9948
26	1,8159	2,2110	2,6200	3,0579	3,5055	3,9632
28	1,8124	2,2036	2,6094	3,0423	3,4830	3,9393
30	1,8095	2,1991	2,6004	3,0271	3,4624	3,9098
32	1,8072	2,1939	2,5921	3,0165	3,4465	3,8913
34	1,8066	2,1894	2,5857	3,0066	3,4342	3,8764
36	1,8056	2,1857	2,5786	2,9959	3,4210	3,8590
38	1,8042	2,1838	2,5736	2,9880	3,4086	3,8424
40	1,8047	2,1815	2,5694	2,9811	3,3999	3,8326
42	1,8049	2,1788	2,5661	2,9741	3,3891	3,8161
44	1,8048	2,1782	2,5622	2,9695	3,3806	3,8034
46	1,8044	2,1773	2,5593	2,9644	3,3760	3,7963
48	1,8059	2,1772	2,5573	2,9574	3,3664	3,7855
50	1,8072	2,1768	2,5537	2,9556	3,3594	3,7773

T [tex]	D_0 [mm]	$p_2 \cdot 10^3$ [ktex ^{-2/3} m ¹]	R [1]	μ_0 [1]
16	0,2203	-4,4049	-0,9967	0,3203
18	0,2375	-4,5314	-0,9969	0,3103
20	0,2538	-4,6353	-0,9971	0,3017
22	0,2709	-4,8277	-0,9968	0,2913
24	0,2865	-4,9220	-0,9970	0,2841
26	0,3021	-5,0407	-0,9967	0,2768
28	0,3171	-5,1320	-0,9968	0,2706
30	0,3325	-5,2619	-0,9970	0,2638
32	0,3468	-5,3339	-0,9971	0,2585
34	0,3612	-5,4138	-0,9967	0,2534
36	0,3751	-5,4909	-0,9967	0,2486
38	0,3892	-5,5792	-0,9968	0,2438
40	0,4028	-5,6419	-0,9967	0,2397
42	0,4164	-5,7236	-0,9969	0,2354
44	0,4299	-5,7982	-0,9970	0,2314
46	0,4426	-5,8366	-0,9969	0,2283
48	0,4558	-5,9098	-0,9969	0,2246
50	0,4689	-5,9795	-0,9968	0,2210

vl (100)

Tab. 10

$T[\text{tex}]$	$\alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$					
	35	40	45	50	55	60
	$\varepsilon[1]$					
16	0,1279	0,1495	0,1679	0,1821	0,1962	0,2076
18	0,1323	0,1539	0,1729	0,1881	0,2020	0,2141
20	0,1354	0,1571	0,1768	0,1921	0,2065	0,2189
22	0,1407	0,1639	0,1841	0,2002	0,2147	0,2277
24	0,1437	0,1669	0,1878	0,2039	0,2190	0,2322
26	0,1471	0,1711	0,1924	0,2089	0,2241	0,2376
28	0,1498	0,1742	0,1956	0,2126	0,2283	0,2417
30	0,1539	0,1786	0,2005	0,2178	0,2339	0,2479
32	0,1559	0,1809	0,2030	0,2207	0,2367	0,2511
34	0,1582	0,1838	0,2064	0,2242	0,2405	0,2546
36	0,1603	0,1862	0,2090	0,2271	0,2436	0,2579
38	0,1629	0,1892	0,2123	0,2305	0,2474	0,2619
40	0,1648	0,1914	0,2147	0,2332	0,2503	0,2647
42	0,1671	0,1939	0,2174	0,2363	0,2534	0,2683
44	0,1695	0,1964	0,2203	0,2392	0,2567	0,2718
46	0,1705	0,1977	0,2218	0,2408	0,2582	0,2735
48	0,1725	0,2000	0,2242	0,2435	0,2613	0,2766
50	0,1745	0,2023	0,2269	0,2462	0,2643	0,2795

$T[\text{tex}]$	$\alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$					
	35	40	45	50	55	60
	$\psi \cdot 10^2 [\text{l}]$					
16	5,6315	6,9886	8,2832	9,4040	10,6082	11,6867
18	5,6949	7,0370	8,3586	9,5311	10,7151	11,8466
20	5,7089	7,0374	8,3869	9,5642	10,7719	11,9213
22	5,7988	7,2036	8,5833	9,8074	11,0354	12,2379
24	5,8151	7,2066	8,6103	9,8352	11,0920	12,3084
26	5,8460	7,2647	8,6855	9,9319	11,2010	12,4371
28	5,8554	7,2800	8,7024	9,9724	11,2687	12,4950
30	5,9184	7,3539	8,7961	10,0845	11,4118	12,6878
32	5,9046	7,3428	8,7904	10,0925	11,4092	12,7054
34	5,8999	7,3587	8,8247	10,1313	11,4589	12,7322
36	5,8998	7,3593	8,8280	10,1465	11,4865	12,7715
38	5,9124	7,3849	8,8623	10,1883	11,5489	12,8502
40	5,9059	7,3826	8,8630	10,1987	11,5666	12,8569
42	5,9152	7,3936	8,8782	10,2313	11,6011	12,9263
44	5,9311	7,4045	8,9035	10,2553	11,6501	12,9887
46	5,8983	7,3746	8,8751	10,2290	11,6028	12,9495
48	5,9008	7,3848	8,8835	10,2476	11,6463	12,9913
50	5,9036	7,3952	8,9063	10,2697	11,6889	13,0248

$\alpha_F[\text{ktex}^{2/3}\text{m}^{-1}]$	$T[\text{tex}]$	$D[\text{mm}]$	$\mu[\text{l}]$	$Z[\text{m}^{-1}]$	$\kappa[\text{l}]$
35	16	0,1929	0,4097	551,2150	0,3340
	18	0,2072	0,3993	509,5895	0,3317
	20	0,2210	0,3900	475,0235	0,3298
	22	0,2343	0,3816	445,7775	0,3281
	24	0,2472	0,3739	420,6545	0,3267
	26	0,2598	0,3668	398,7970	0,3255
	28	0,2720	0,3603	379,5750	0,3244
	30	0,2840	0,3542	362,5090	0,3234
	32	0,2957	0,3485	347,2441	0,3226
	34	0,3071	0,3432	333,4895	0,3217
	36	0,3184	0,3382	321,0207	0,3211
	38	0,3294	0,3335	309,6559	0,3204
	40	0,3402	0,3291	299,2458	0,3198
	42	0,3509	0,3249	289,6691	0,3193
	44	0,3614	0,3209	280,8232	0,3188
	46	0,3717	0,3171	272,6234	0,3184
40	48	0,3819	0,3135	264,9969	0,3179
	50	0,3919	0,3100	257,8825	0,3175
	16	0,1866	0,4374	629,9609	0,3693
	18	0,2003	0,4273	582,3874	0,3665
	20	0,2134	0,4182	542,8840	0,3640
	22	0,2261	0,4098	509,4600	0,3619
	24	0,2384	0,4022	480,7480	0,3601
	26	0,2503	0,3951	455,7680	0,3584
	28	0,2619	0,3886	433,8000	0,3569
	30	0,2733	0,3825	414,2960	0,3557
	32	0,2844	0,3768	396,8500	0,3546
	34	0,2952	0,3714	381,1308	0,3535
	36	0,3059	0,3664	366,8808	0,3526
	38	0,3163	0,3616	353,8924	0,3517
	40	0,3266	0,3571	341,9952	0,3509
	42	0,3367	0,3528	331,0504	0,3502
	44	0,3466	0,3487	320,9408	0,3495
	46	0,3564	0,3448	311,5702	0,3489
	48	0,3661	0,3411	302,8536	0,3483
	50	0,3756	0,3375	294,7223	0,3478

$\alpha_F[\text{ktex}^{2/3}\text{m}^{-1}]$	$T[\text{tex}]$	$D[\text{mm}]$	$\mu[\text{l}]$	$Z[\text{m}^{-1}]$	$\kappa[\text{l}]$
45	16	0,1817	0,4613	708,7061	0,4045
	18	0,1949	0,4514	655,1859	0,4012
	20	0,2075	0,4425	610,7442	0,3981
	22	0,2196	0,4344	573,1447	0,3954
	24	0,2314	0,4269	540,8415	0,3932
	26	0,2428	0,4199	512,7390	0,3911
	28	0,2539	0,4135	488,0250	0,3893
	30	0,2648	0,4074	466,0830	0,3877
	32	0,2754	0,4018	446,4567	0,3863
	34	0,2858	0,3964	428,7722	0,3850
	36	0,2960	0,3914	412,7409	0,3838
	38	0,3059	0,3866	398,1290	0,3826
	40	0,3158	0,3821	384,7446	0,3817
	42	0,3254	0,3777	372,4317	0,3807
	44	0,3349	0,3736	361,0584	0,3799
	46	0,3442	0,3697	350,5158	0,3790
	48	0,3534	0,3659	340,7103	0,3783
	50	0,3625	0,3623	331,5632	0,3776
50	16	0,1771	0,4858	787,4512	0,4381
	18	0,1899	0,4753	727,9850	0,4343
	20	0,2019	0,4672	678,6050	0,4304
	22	0,2137	0,4587	636,8250	0,4275
	24	0,2250	0,4514	600,9350	0,4248
	26	0,2359	0,4449	569,7100	0,4222
	28	0,2466	0,4385	542,2500	0,4201
	30	0,2571	0,4322	517,8700	0,4183
	32	0,2672	0,4268	496,0630	0,4164
	34	0,2771	0,4217	476,4135	0,4147
	36	0,2869	0,4165	458,6010	0,4133
	38	0,2964	0,4119	442,3655	0,4119
	40	0,3059	0,4071	427,4940	0,4108
	42	0,3152	0,4026	413,8130	0,4098
	44	0,3242	0,3986	401,1760	0,4086
	46	0,3331	0,3948	389,4620	0,4076
	48	0,3420	0,3908	378,5670	0,4067
	50	0,3506	0,3874	368,4035	0,4058

α_F [ktex ^{2/3} m ⁻¹]	T [tex]	D [mm]	μ [l]	Z [m ⁻¹]	κ [l]
55	16	0,1732	0,5079	866,1950	0,4713
	18	0,1855	0,4981	800,7835	0,4667
	20	0,1972	0,4898	746,4655	0,4625
	22	0,2085	0,4819	700,5075	0,4588
	24	0,2194	0,4748	661,0285	0,4556
	26	0,2299	0,4684	626,6810	0,4526
	28	0,2402	0,4621	596,4750	0,4501
	30	0,2503	0,4560	569,6570	0,4479
	32	0,2601	0,4504	545,6693	0,4459
	34	0,2697	0,4451	524,0549	0,4440
	36	0,2791	0,4401	504,4611	0,4423
	38	0,2882	0,4357	486,6021	0,4406
	40	0,2974	0,4307	470,2434	0,4394
	42	0,3063	0,4263	455,1943	0,4380
	44	0,3150	0,4223	441,2936	0,4367
	46	0,3235	0,4186	428,4082	0,4354
60	48	0,3320	0,4147	416,4237	0,4343
	50	0,3404	0,4109	405,2439	0,4334
	16	0,1696	0,5297	944,9400	0,5035
	18	0,1816	0,5198	873,5820	0,4984
	20	0,1929	0,5118	814,3260	0,4935
	22	0,2038	0,5044	764,1900	0,4893
	24	0,2145	0,4967	721,1220	0,4859
	26	0,2246	0,4908	683,6520	0,4824
	28	0,2346	0,4845	650,7000	0,4796
	30	0,2443	0,4787	621,4440	0,4770
	32	0,2537	0,4734	595,2756	0,4744
	34	0,2630	0,4681	571,6962	0,4724
	36	0,2721	0,4630	550,3212	0,4704
	38	0,2809	0,4586	530,8386	0,4685
	40	0,2898	0,4536	512,9928	0,4670
	42	0,2984	0,4492	496,5756	0,4655
	44	0,3068	0,4451	481,4112	0,4640
	46	0,3150	0,4415	467,3544	0,4625
	48	0,3232	0,4376	454,2804	0,4613
	50	0,3313	0,4338	442,0842	0,4601

vl/PES (45/55)

Tab. 13

T[tex]	$\alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$					
	35	40	45	50	55	60
	$\delta \cdot 10^2 [\%]$					
16	1,8835	2,2839	2,7158	3,1569	3,6188	4,0899
18	1,8985	2,2988	2,7305	3,1707	3,6270	4,0963
20	1,9113	2,3094	2,7381	3,1720	3,6283	4,0914
22	1,9213	2,3186	2,7437	3,1787	3,6273	4,0864
24	1,9307	2,3267	2,7502	3,1816	3,6261	4,0853
26	1,9393	2,3323	2,7534	3,1806	3,6219	4,0774
28	1,9464	2,3372	2,7570	3,1825	3,6203	4,0719
30	1,9526	2,3433	2,7602	3,1851	3,6192	4,0667
32	1,9593	2,3485	2,7636	3,1834	3,6177	4,0577
34	1,9634	2,3520	2,7662	3,1820	3,6150	4,0550
36	1,9696	2,3563	2,7683	3,1829	3,6129	4,0496
38	1,9736	2,3594	2,7688	3,1819	3,6088	4,0436
40	1,9778	2,3626	2,7721	3,1838	3,6105	4,0419
42	1,9823	2,3660	2,7728	3,1857	3,6075	4,0384
44	1,9861	2,3685	2,7752	3,1834	3,6048	4,0334
46	1,9904	2,3715	2,7752	3,1830	3,6008	4,0271
48	1,9930	2,3738	2,7772	3,1831	3,5987	4,0243
50	1,9961	2,3767	2,7785	3,1824	3,5988	4,0205

vI/PES (45/55)

Tab. 14

T [tex]	D_0 [mm]	$p_2 \cdot 10^3$ [ktex ^{-2/3} m ¹]	R [l]	μ_0 [l]
16	0,2294	-5,1020	-0,9967	0,2895
18	0,2475	-5,2324	-0,9968	0,2797
20	0,2654	-5,3952	-0,9967	0,2702
22	0,2827	-5,5295	-0,9969	0,2620
24	0,2994	-5,6380	-0,9967	0,2549
26	0,3162	-5,7819	-0,9967	0,2476
28	0,3321	-5,8757	-0,9967	0,2417
30	0,3480	-5,9779	-0,9968	0,2359
32	0,3636	-6,0808	-0,9969	0,2304
34	0,3785	-6,1545	-0,9968	0,2259
36	0,3936	-6,2399	-0,9968	0,2212
38	0,4084	-6,3259	-0,9968	0,2169
40	0,4224	-6,3688	-0,9968	0,2134
42	0,4367	-6,4346	-0,9968	0,2097
44	0,4508	-6,5041	-0,9967	0,2061
46	0,4648	-6,5767	-0,9968	0,2027
48	0,4785	-6,6317	-0,9969	0,1996
50	0,4918	-6,6771	-0,9968	0,1968

$T[\text{tex}]$	$\alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$					
	35	40	45	50	55	60
	$\varepsilon[1]$					
16	0,1480	0,1736	0,1931	0,2112	0,2263	0,2400
18	0,1517	0,1778	0,1977	0,2161	0,2319	0,2457
20	0,1562	0,1831	0,2035	0,2227	0,2385	0,2528
22	0,1602	0,1874	0,2086	0,2276	0,2441	0,2588
24	0,1634	0,1910	0,2126	0,2321	0,2489	0,2634
26	0,1674	0,1957	0,2176	0,2377	0,2548	0,2697
28	0,1701	0,1987	0,2210	0,2412	0,2587	0,2737
30	0,1730	0,2021	0,2247	0,2450	0,2628	0,2782
32	0,1759	0,2053	0,2282	0,2490	0,2668	0,2825
34	0,1778	0,2075	0,2306	0,2519	0,2696	0,2855
36	0,1802	0,2103	0,2337	0,2551	0,2731	0,2891
38	0,1826	0,2130	0,2368	0,2583	0,2766	0,2927
40	0,1838	0,2143	0,2382	0,2599	0,2783	0,2945
42	0,1857	0,2166	0,2407	0,2624	0,2810	0,2973
44	0,1876	0,2187	0,2430	0,2650	0,2837	0,3001
46	0,1896	0,2208	0,2454	0,2676	0,2865	0,3030
48	0,1912	0,2225	0,2474	0,2695	0,2887	0,3053
50	0,1924	0,2239	0,2489	0,2714	0,2904	0,3072

vl/PES (45/55)

Tab. 16

T[<i>tex</i>]	$\alpha_F [\text{k} \text{tex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$					
	35	40	45	50	55	60
	$\psi \cdot 10^2 [\text{l}]$					
16	6,1800	7,7703	9,1564	10,5946	11,9253	13,2549
18	6,1746	7,7762	9,1747	10,6076	11,9857	13,3170
20	6,2105	7,8383	9,2584	10,7454	12,1215	13,4902
22	6,2330	7,8619	9,3172	10,7828	12,2059	13,6100
24	6,2298	7,8650	9,3326	10,8213	12,2624	13,6403
26	6,2617	7,9167	9,3957	10,9227	12,3833	13,7995
28	6,2504	7,9063	9,3974	10,9243	12,4036	13,8237
30	6,2497	7,9158	9,4141	10,9373	12,4337	13,8820
32	6,2526	7,9217	9,4297	10,9768	12,4677	13,9392
34	6,2243	7,8922	9,4010	10,9717	12,4500	13,9291
36	6,2168	7,8913	9,4074	10,9742	12,4696	13,9503
38	6,2123	7,8882	9,4154	10,9890	12,5027	13,9889
40	6,1709	7,8378	9,3611	10,9285	12,4354	13,9212
42	6,1554	7,8268	9,3505	10,9118	12,4273	13,9167
44	6,1421	7,8111	9,3376	10,9102	12,4287	13,9189
46	6,1343	7,7981	9,3314	10,9122	12,4409	13,9388
48	6,1160	7,7740	9,3109	10,8783	12,4193	13,9201
50	6,0859	7,7406	9,2754	10,8596	12,3780	13,8846

ba (100)

Tab. 17a

α_F [ktex ^{2/3} m ⁻¹]	T [tex]	D [mm]	μ [l]	Z [m ⁻¹]	κ [l]
35	16	0,1794	0,4166	551,2150	0,3107
	18	0,1927	0,4063	509,5895	0,3085
	20	0,2054	0,3970	475,0235	0,3065
	22	0,2178	0,3886	445,7775	0,3050
	24	0,2297	0,3809	420,6545	0,3036
	26	0,2414	0,3738	398,7970	0,3024
	28	0,2527	0,3673	379,5750	0,3013
	30	0,2638	0,3612	362,5090	0,3004
	32	0,2746	0,3555	347,2441	0,2996
	34	0,2852	0,3501	333,4895	0,2988
	36	0,2956	0,3451	321,0207	0,2981
	38	0,3058	0,3404	309,6559	0,2975
	40	0,3158	0,3359	299,2458	0,2969
	42	0,3257	0,3317	289,6691	0,2964
	44	0,3354	0,3277	280,8232	0,2959
	46	0,3449	0,3239	272,6234	0,2954
	48	0,3544	0,3202	264,9969	0,2950
	50	0,3637	0,3167	257,8825	0,2947
40	16	0,1737	0,4442	629,9609	0,3438
	18	0,1864	0,4341	582,3874	0,3410
	20	0,1985	0,4250	542,8840	0,3385
	22	0,2103	0,4167	509,4600	0,3366
	24	0,2217	0,4091	480,7480	0,3348
	26	0,2327	0,4021	455,7680	0,3332
	28	0,2435	0,3956	433,8000	0,3318
	30	0,2540	0,3895	414,2960	0,3306
	32	0,2643	0,3838	396,8500	0,3295
	34	0,2743	0,3784	381,1308	0,3284
	36	0,2842	0,3734	366,8808	0,3276
	38	0,2939	0,3686	353,8924	0,3268
	40	0,3034	0,3641	341,9952	0,3260
	42	0,3127	0,3597	331,0504	0,3252
	44	0,3219	0,3557	320,9408	0,3246
	46	0,3310	0,3517	311,5702	0,3240
	48	0,3399	0,3480	302,8536	0,3234
	50	0,3487	0,3444	294,7223	0,3229

$\alpha_F[\text{ktex}^{2/3}\text{m}^{-1}]$	$T[\text{tex}]$	$D[\text{mm}]$	$\mu[\text{l}]$	$Z[\text{m}^{-1}]$	$\kappa[\text{l}]$
45	16	0,1693	0,4678	708,7061	0,3769
	18	0,1814	0,4581	655,1859	0,3734
	20	0,1931	0,4492	610,7442	0,3705
	22	0,2044	0,4411	573,1447	0,3680
	24	0,2153	0,4337	540,8415	0,3658
	26	0,2259	0,4268	512,7390	0,3639
	28	0,2362	0,4204	488,0250	0,3621
	30	0,2463	0,4143	466,0830	0,3606
	32	0,2561	0,4087	446,4567	0,3592
	34	0,2657	0,4034	428,7722	0,3579
	36	0,2751	0,3983	412,7409	0,3567
	38	0,2844	0,3936	398,1290	0,3557
	40	0,2935	0,3890	384,7446	0,3548
	42	0,3024	0,3847	372,4317	0,3538
	44	0,3112	0,3806	361,0584	0,3530
	46	0,3198	0,3767	350,5158	0,3522
50	48	0,3284	0,3729	340,7103	0,3515
	50	0,3368	0,3693	331,5632	0,3508
	16	0,1657	0,4882	787,4512	0,4099
	18	0,1775	0,4788	727,9850	0,4059
	20	0,1888	0,4702	678,6050	0,4025
	22	0,1996	0,4624	636,8250	0,3993
	24	0,2102	0,4551	600,9350	0,3968
	26	0,2204	0,4484	569,7100	0,3945
	28	0,2303	0,4421	542,2500	0,3923
	30	0,2400	0,4362	517,8700	0,3905
	32	0,2495	0,4307	496,0630	0,3888
	34	0,2587	0,4255	476,4135	0,3872
	36	0,2678	0,4205	458,6010	0,3858
	38	0,2767	0,4158	442,3655	0,3845
	40	0,2854	0,4113	427,4940	0,3833
	42	0,2940	0,4070	413,8130	0,3822
	44	0,3024	0,4029	401,1760	0,3811
	46	0,3108	0,3990	389,4620	0,3803
	48	0,3189	0,3953	378,5670	0,3793
	50	0,3270	0,3917	368,4035	0,3785

ba (100)

Tab. 17c

$\alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$	$T [\text{tex}]$	$D [\text{mm}]$	$\mu [\text{l}]$	$Z [\text{m}^{-1}]$	$\kappa [\text{l}]$
55	16	0,1628	0,5059	866,1950	0,4430
	18	0,1742	0,4969	800,7835	0,4382
	20	0,1852	0,4886	746,4655	0,4343
	22	0,1957	0,4810	700,5075	0,4307
	24	0,2059	0,4740	661,0285	0,4276
	26	0,2158	0,4675	626,6810	0,4249
	28	0,2255	0,4614	596,4750	0,4226
	30	0,2349	0,4556	569,6570	0,4204
	32	0,2440	0,4502	545,6693	0,4183
	34	0,2530	0,4451	524,0549	0,4165
	36	0,2617	0,4402	504,4611	0,4147
	38	0,2703	0,4356	486,6021	0,4132
	40	0,2788	0,4312	470,2434	0,4119
	42	0,2871	0,4270	455,1943	0,4106
	44	0,2952	0,4229	441,2936	0,4093
	46	0,3032	0,4191	428,4082	0,4081
	48	0,3111	0,4154	416,4237	0,4070
	50	0,3189	0,4118	405,2439	0,4060
60	16	0,1603	0,5215	944,9400	0,4759
	18	0,1715	0,5128	873,5820	0,4707
	20	0,1822	0,5048	814,3260	0,4661
	22	0,1925	0,4975	764,1900	0,4621
	24	0,2024	0,4907	721,1220	0,4585
	26	0,2120	0,4844	683,6520	0,4553
	28	0,2214	0,4784	650,7000	0,4526
	30	0,2305	0,4729	621,4440	0,4500
	32	0,2394	0,4676	595,2756	0,4477
	34	0,2481	0,4626	571,6962	0,4456
	36	0,2566	0,4578	550,3212	0,4436
	38	0,2650	0,4533	530,8386	0,4419
	40	0,2732	0,4490	512,9928	0,4403
	42	0,2812	0,4449	496,5756	0,4387
	44	0,2891	0,4409	481,4112	0,4372
	46	0,2969	0,4371	467,3544	0,4359
	48	0,3046	0,4335	454,2804	0,4347
	50	0,3121	0,4299	442,0842	0,4335

ba (100)

Tab. 18

$T[\text{tex}]$	$\alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$					
	35	40	45	50	55	60
	$\delta \cdot 10^2 [\%]$					
16	1,8648	2,2648	2,6978	3,1606	3,6541	4,1719
18	1,8603	2,2547	2,6800	3,1372	3,6200	4,1326
20	1,8550	2,2446	2,6659	3,1172	3,5936	4,0961
22	1,8530	2,2392	2,6538	3,0961	3,5672	4,0641
24	1,8503	2,2327	2,6430	3,0819	3,5448	4,0344
26	1,8484	2,2268	2,6340	3,0681	3,5256	4,0078
28	1,8463	2,2219	2,6245	3,0535	3,5101	3,9862
30	1,8455	2,2182	2,6176	3,0429	3,4940	3,9644
32	1,8449	2,2148	2,6108	3,0324	3,4778	3,9454
34	1,8436	2,2104	2,6042	3,0220	3,4648	3,9279
36	1,8428	2,2090	2,5981	3,0134	3,4505	3,9106
38	1,8425	2,2069	2,5938	3,0053	3,4397	3,8970
40	1,8418	2,2042	2,5902	2,9978	3,4311	3,8838
42	1,8418	2,2009	2,5846	2,9911	3,4216	3,8698
44	1,8413	2,1997	2,5812	2,9837	3,4113	3,8565
46	1,8405	2,1981	2,5773	2,9801	3,4020	3,8457
48	1,8406	2,1961	2,5743	2,9731	3,3936	3,8359
50	1,8416	2,1950	2,5708	2,9685	3,3862	3,8254

ba (100)

Tab. 19

T [tex]	D_0 [mm]	$p_2 \cdot 10^3$ [ktex ^{-2/3} m ¹]	R [l]	μ_0 [l]
16	0,2080	-4,4501	-0,9907	0,3096
18	0,2247	-4,6146	-0,9905	0,2986
20	0,2406	-4,7420	-0,9909	0,2895
22	0,2564	-4,8973	-0,9908	0,2803
24	0,2716	-5,0195	-0,9914	0,2725
26	0,2866	-5,1439	-0,9914	0,2651
28	0,3010	-5,2391	-0,9915	0,2589
30	0,3153	-5,3436	-0,9917	0,2527
32	0,3294	-5,4386	-0,9919	0,2471
34	0,3430	-5,5200	-0,9918	0,2421
36	0,3566	-5,6101	-0,9920	0,2371
38	0,3698	-5,6833	-0,9921	0,2327
40	0,3828	-5,7496	-0,9922	0,2286
42	0,3958	-5,8227	-0,9922	0,2246
44	0,4085	-5,8926	-0,9923	0,2208
46	0,4210	-5,9487	-0,9925	0,2174
48	0,4335	-6,0120	-0,9924	0,2140
50	0,4458	-6,0718	-0,9926	0,2108

ba (100)

Tab. 20

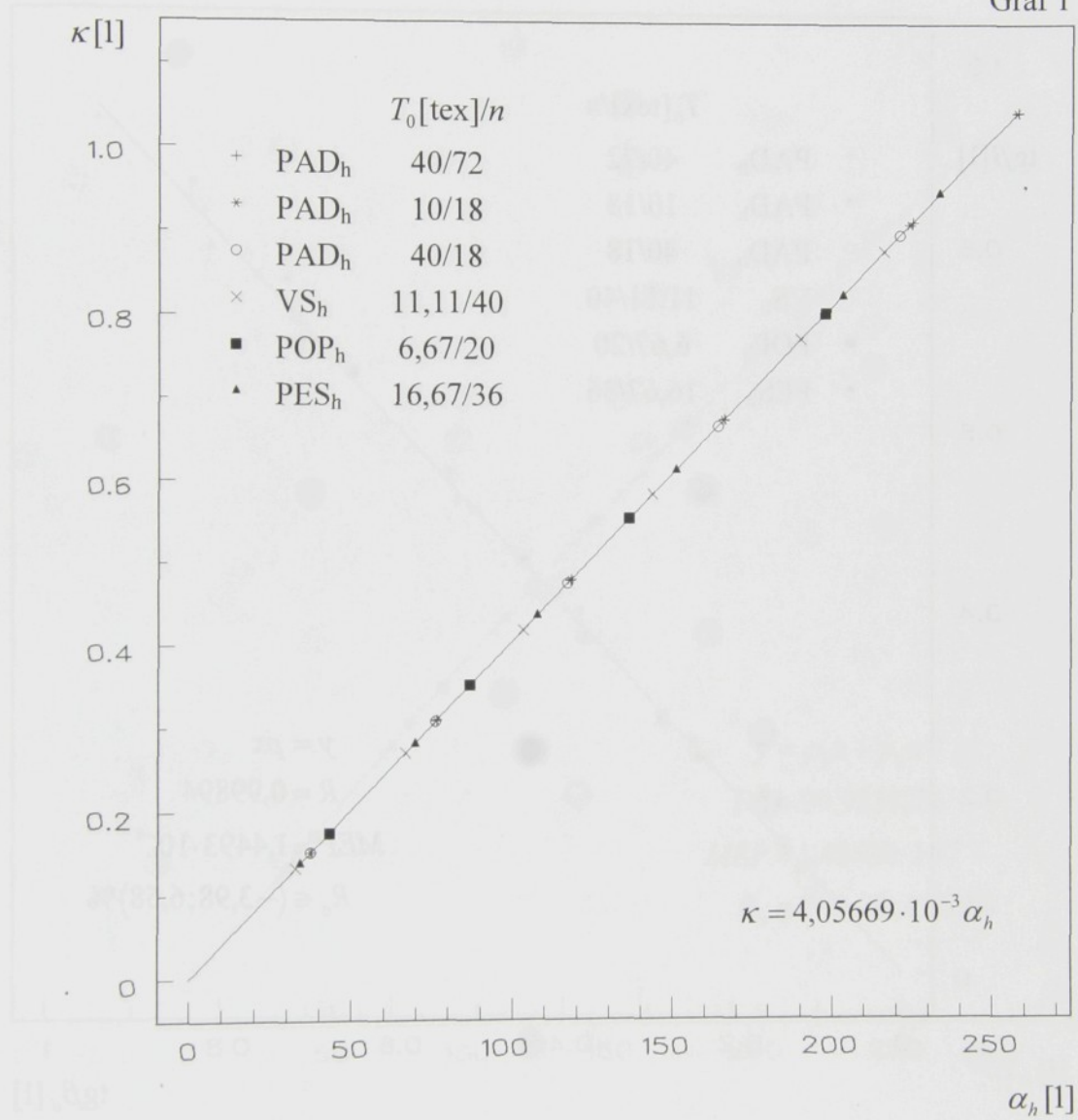
$T[\text{tex}]$	$\alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$					
	35	40	45	50	55	60
	$\varepsilon[1]$					
16	0,1264	0,1518	0,1710	0,1861	0,1979	0,2076
18	0,1313	0,1575	0,1778	0,1931	0,2056	0,2153
20	0,1354	0,1622	0,1827	0,1985	0,2113	0,2216
22	0,1397	0,1671	0,1882	0,2049	0,2181	0,2284
24	0,1436	0,1712	0,1929	0,2096	0,2234	0,2342
26	0,1471	0,1756	0,1975	0,2147	0,2286	0,2399
28	0,1499	0,1787	0,2011	0,2188	0,2327	0,2442
30	0,1528	0,1822	0,2048	0,2228	0,2370	0,2489
32	0,1559	0,1855	0,2086	0,2267	0,2415	0,2534
34	0,1581	0,1882	0,2115	0,2300	0,2447	0,2570
36	0,1607	0,1910	0,2148	0,2334	0,2486	0,2609
38	0,1628	0,1933	0,2172	0,2362	0,2516	0,2640
40	0,1648	0,1955	0,2197	0,2390	0,2544	0,2673
42	0,1669	0,1981	0,2224	0,2419	0,2574	0,2704
44	0,1688	0,2002	0,2247	0,2445	0,2602	0,2733
46	0,1707	0,2021	0,2270	0,2466	0,2628	0,2759
48	0,1724	0,2043	0,2291	0,2493	0,2654	0,2785
50	0,1742	0,2062	0,2312	0,2515	0,2678	0,2812

ba (100)

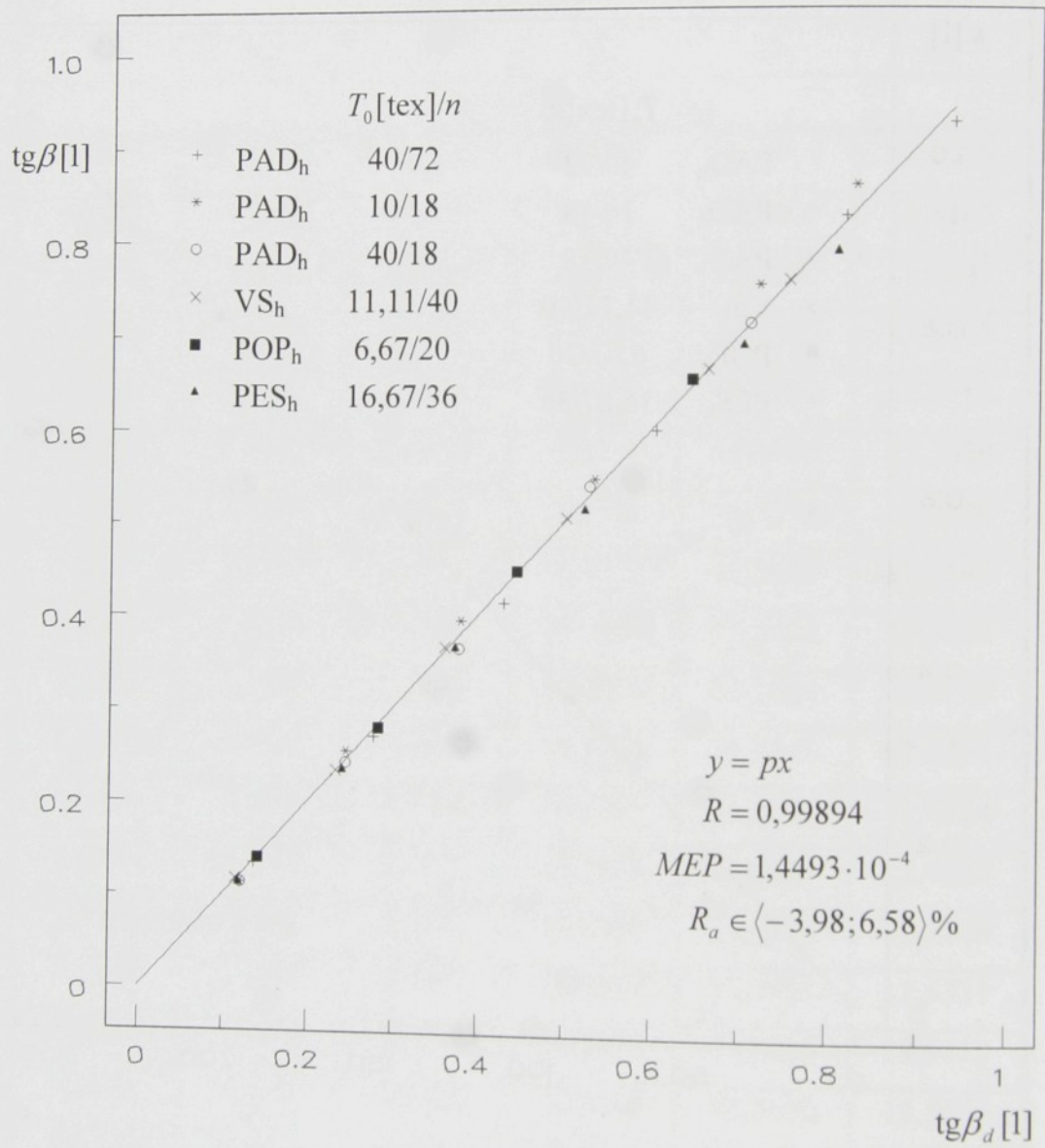
Tab. 21

T[tex]	$\alpha_F [\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}]$					
	35	40	45	50	55	60
	$\psi \cdot 10^2 [1]$					
16	5,3659	6,8992	8,2212	9,3819	10,3915	11,2978
18	5,4358	6,9948	8,3693	9,5451	10,6000	11,5165
20	5,4770	7,0518	8,4317	9,6338	10,7090	11,6641
22	5,5312	7,1225	8,5278	9,7773	10,8787	11,8443
24	5,5728	7,1637	8,5932	9,8422	10,9783	11,9753
26	5,6021	7,2217	8,6573	9,9319	11,0776	12,1059
28	5,6094	7,2300	8,6821	9,9778	11,1274	12,1676
30	5,6229	7,2577	8,7129	10,0235	11,1887	12,2564
32	5,6464	7,2807	8,7540	10,0693	11,2641	12,3357
34	5,6390	7,2825	8,7600	10,0915	11,2825	12,3749
36	5,6499	7,2930	8,7837	10,1194	11,3345	12,4301
38	5,6457	7,2858	8,7766	10,1255	11,3501	12,4524
40	5,6395	7,2786	8,7736	10,1339	11,3595	12,4867
42	5,6399	7,2860	8,7827	10,1489	11,3804	12,5144
44	5,6353	7,2813	8,7787	10,1539	11,3925	12,5331
46	5,6326	7,2676	8,7773	10,1416	11,4018	12,5419
48	5,6238	7,2693	8,7689	10,1568	11,4120	12,5546
50	5,6204	7,2609	8,7635	10,1526	11,4145	12,5696

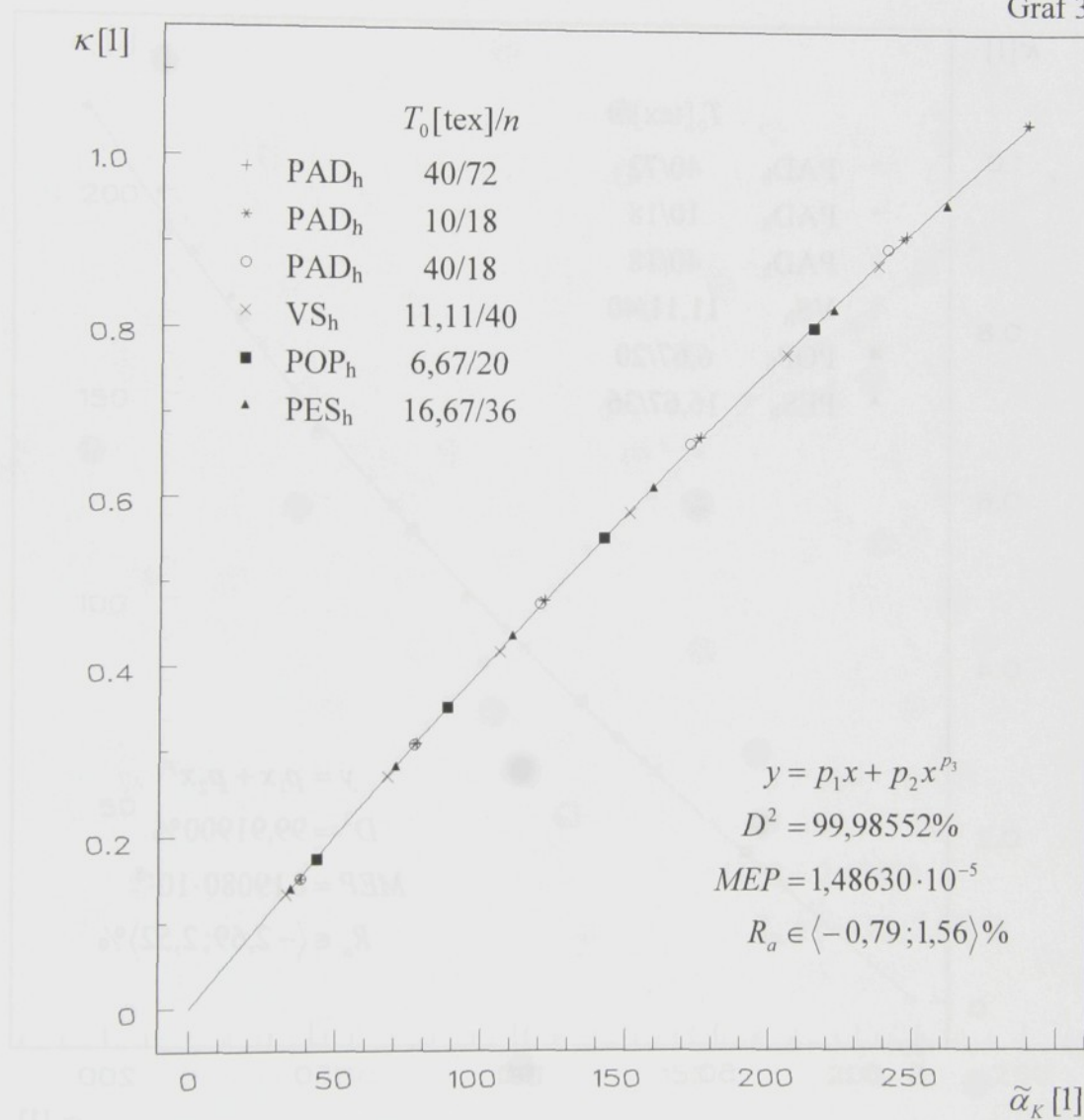
Graf 1



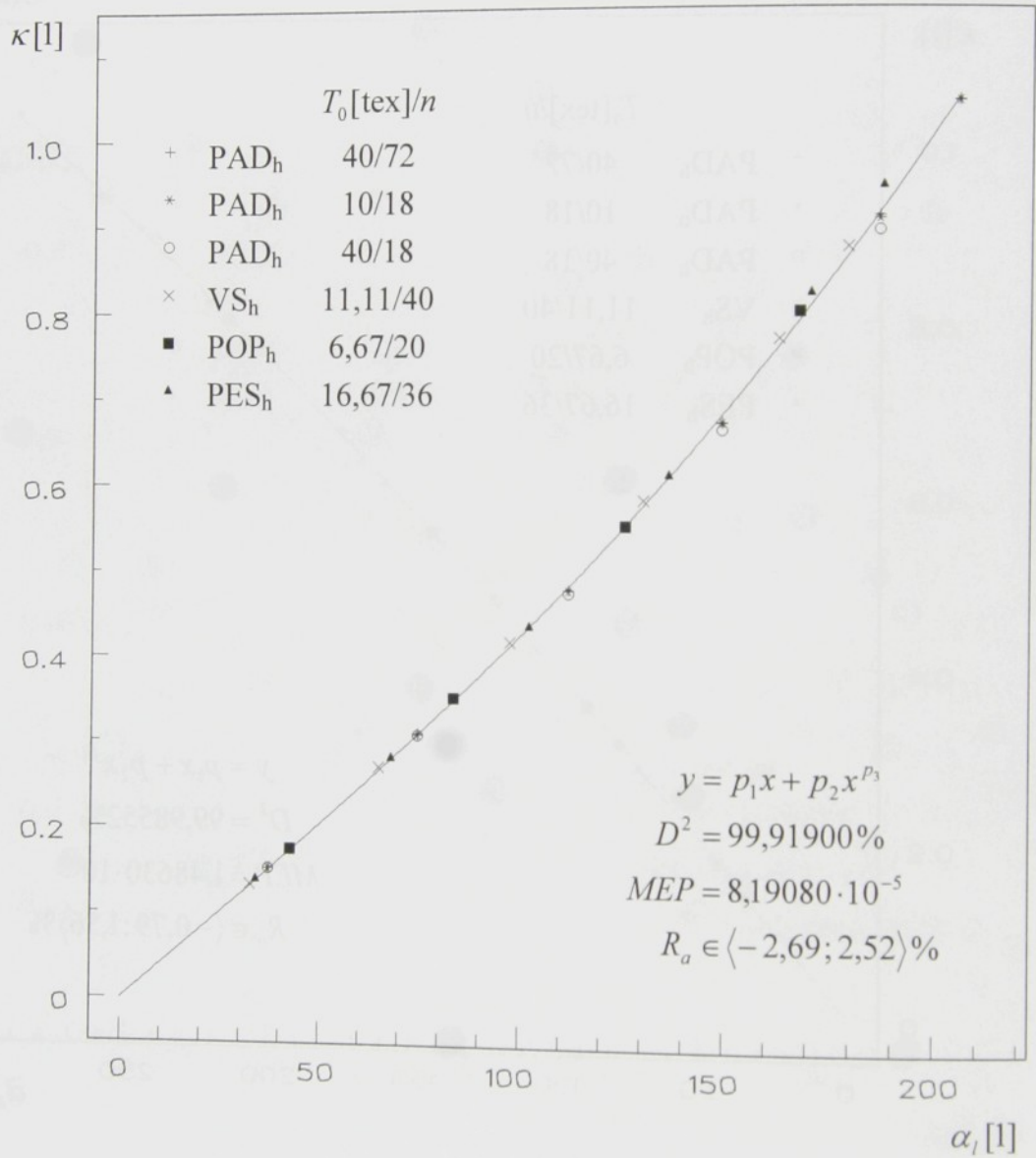
Graf 2



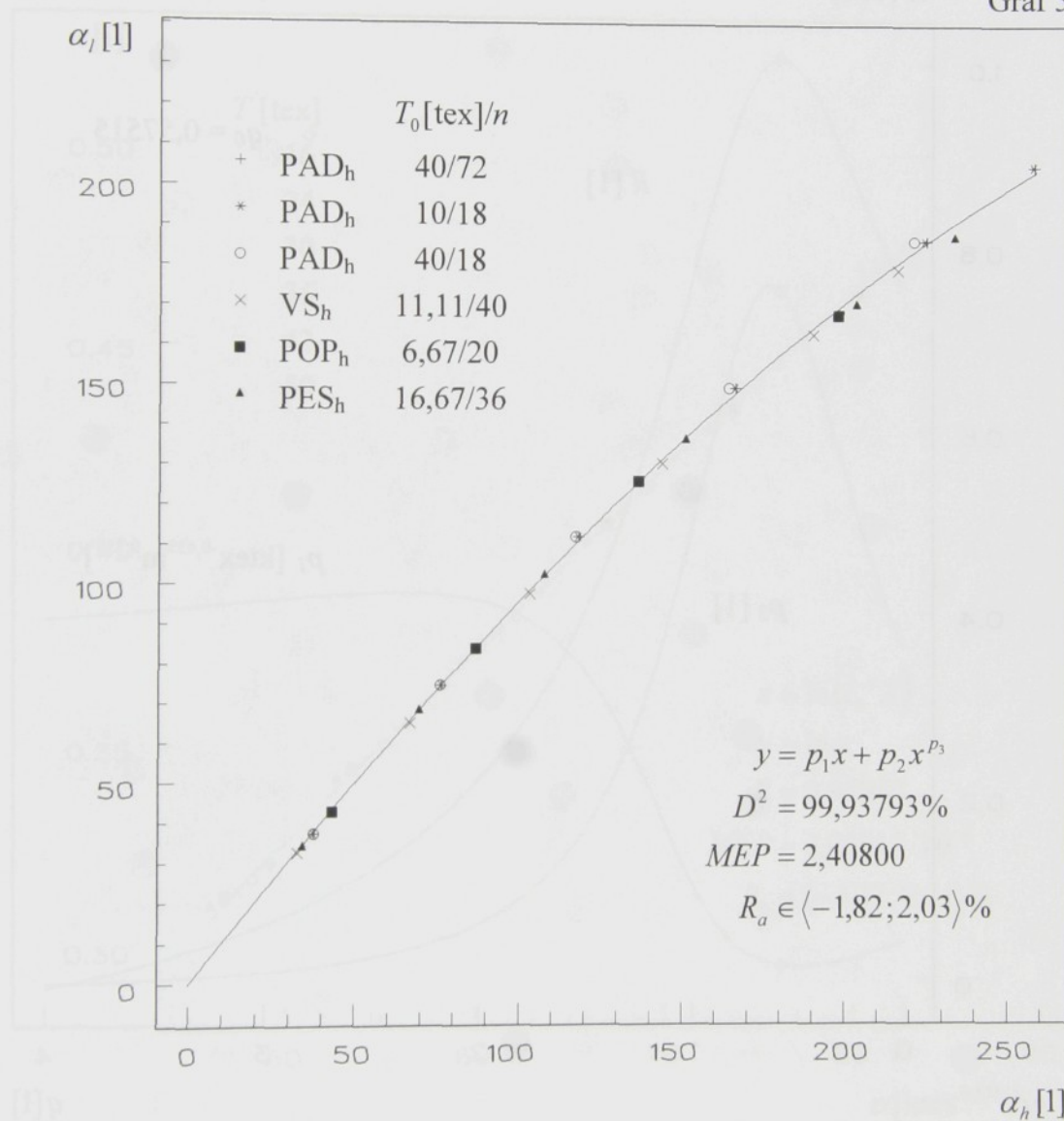
Graf 3



Graf 4

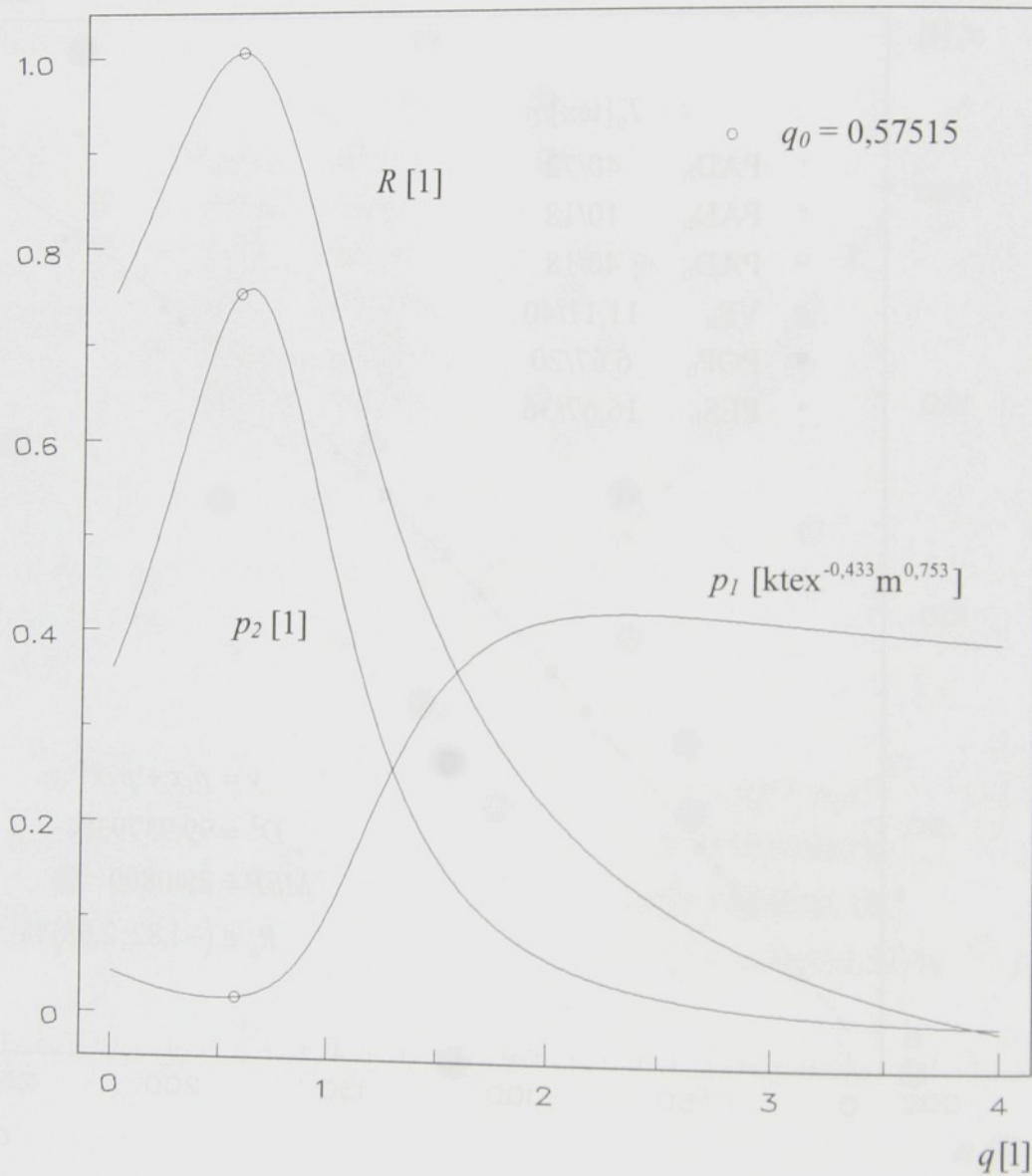


Graf 5



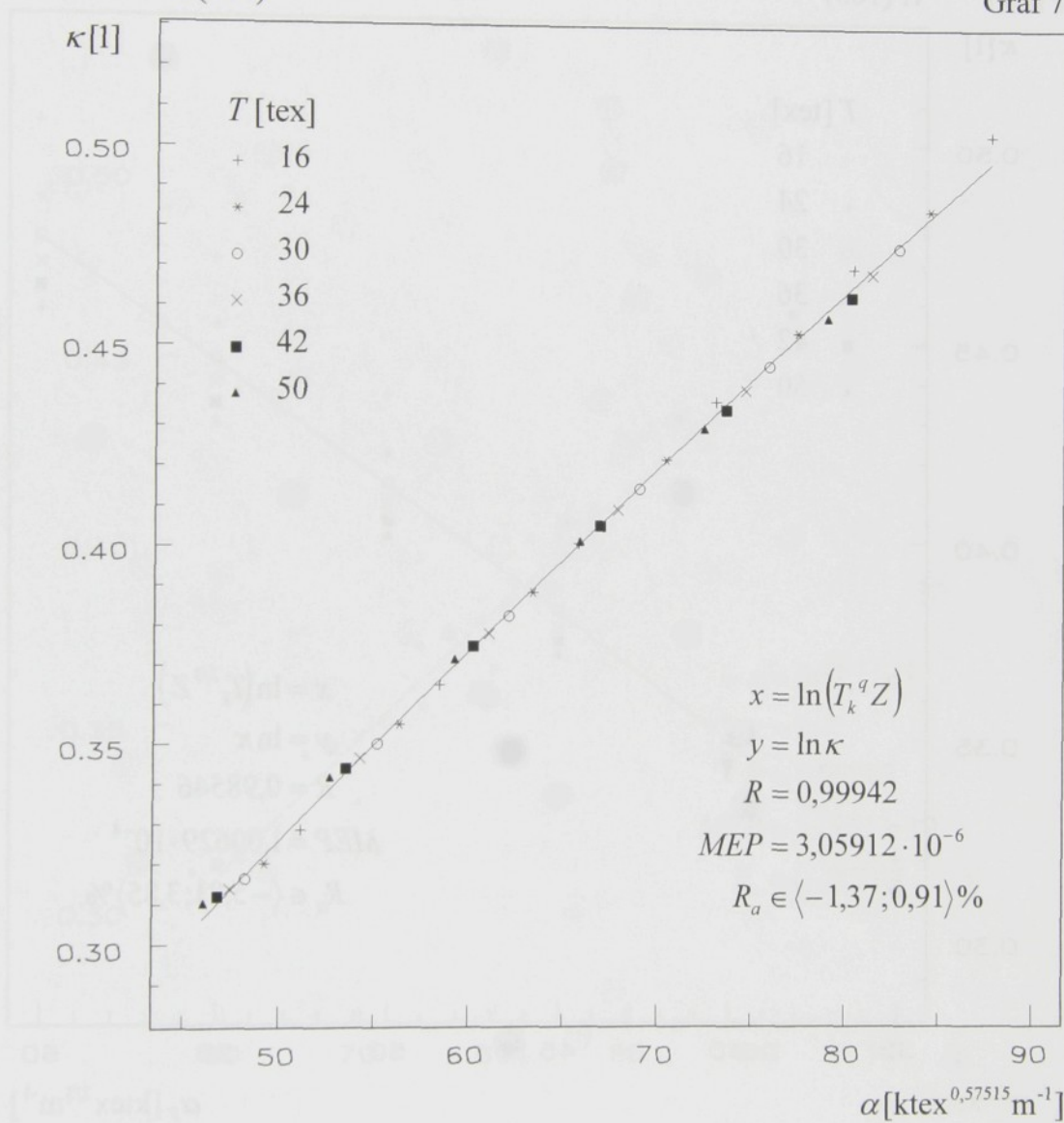
vl (100)

Graf 6



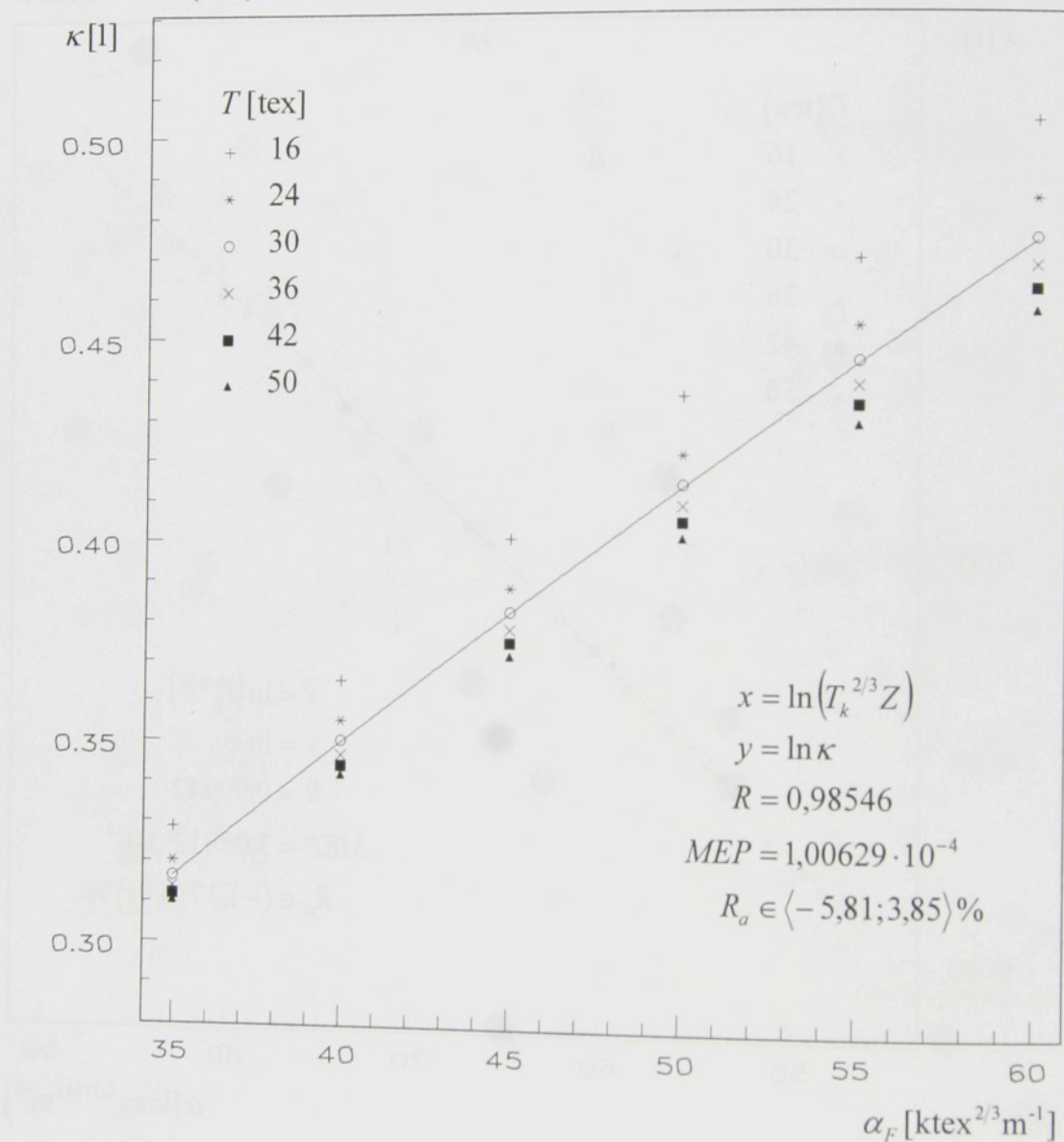
vl (100)

Graf 7



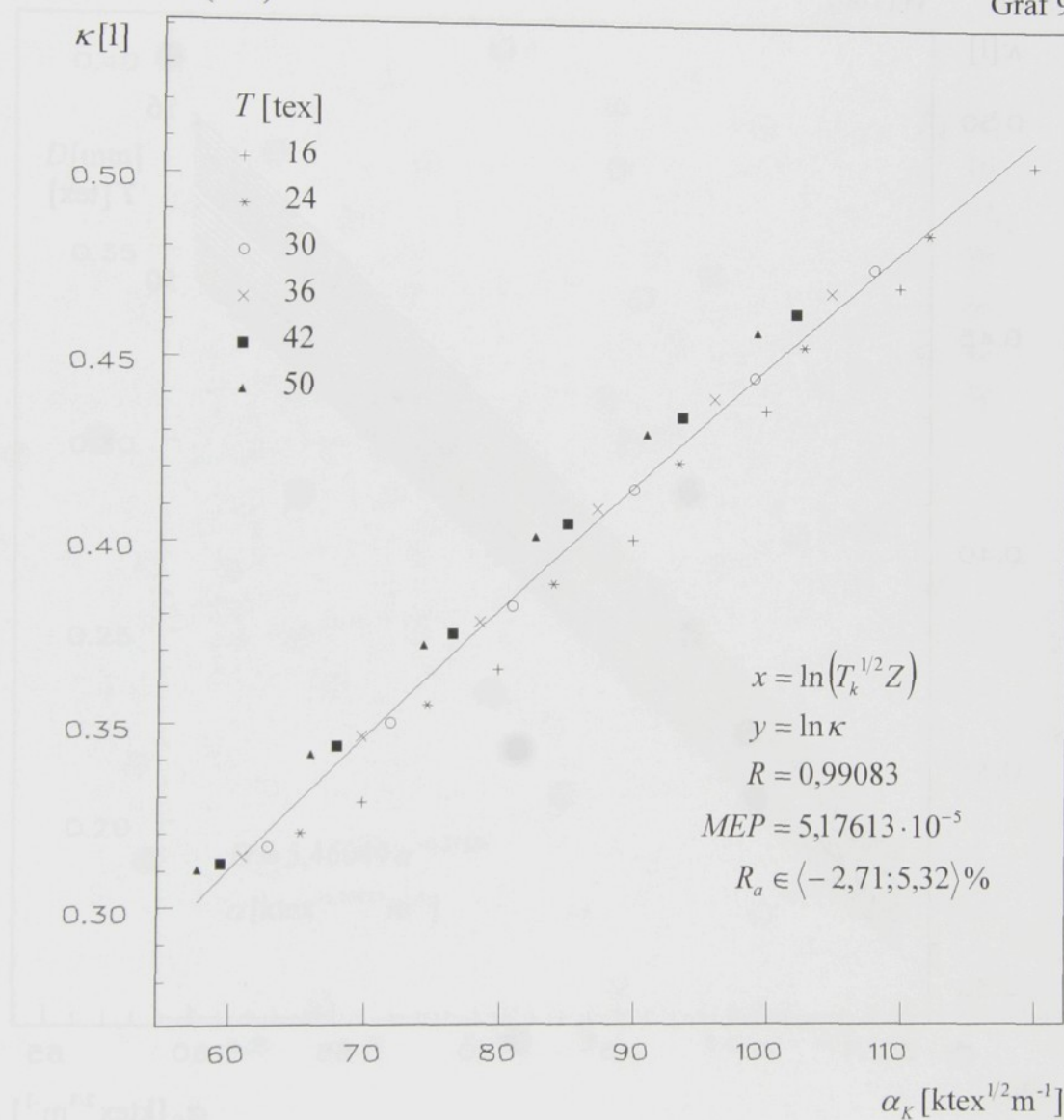
vl (100)

Graf 8



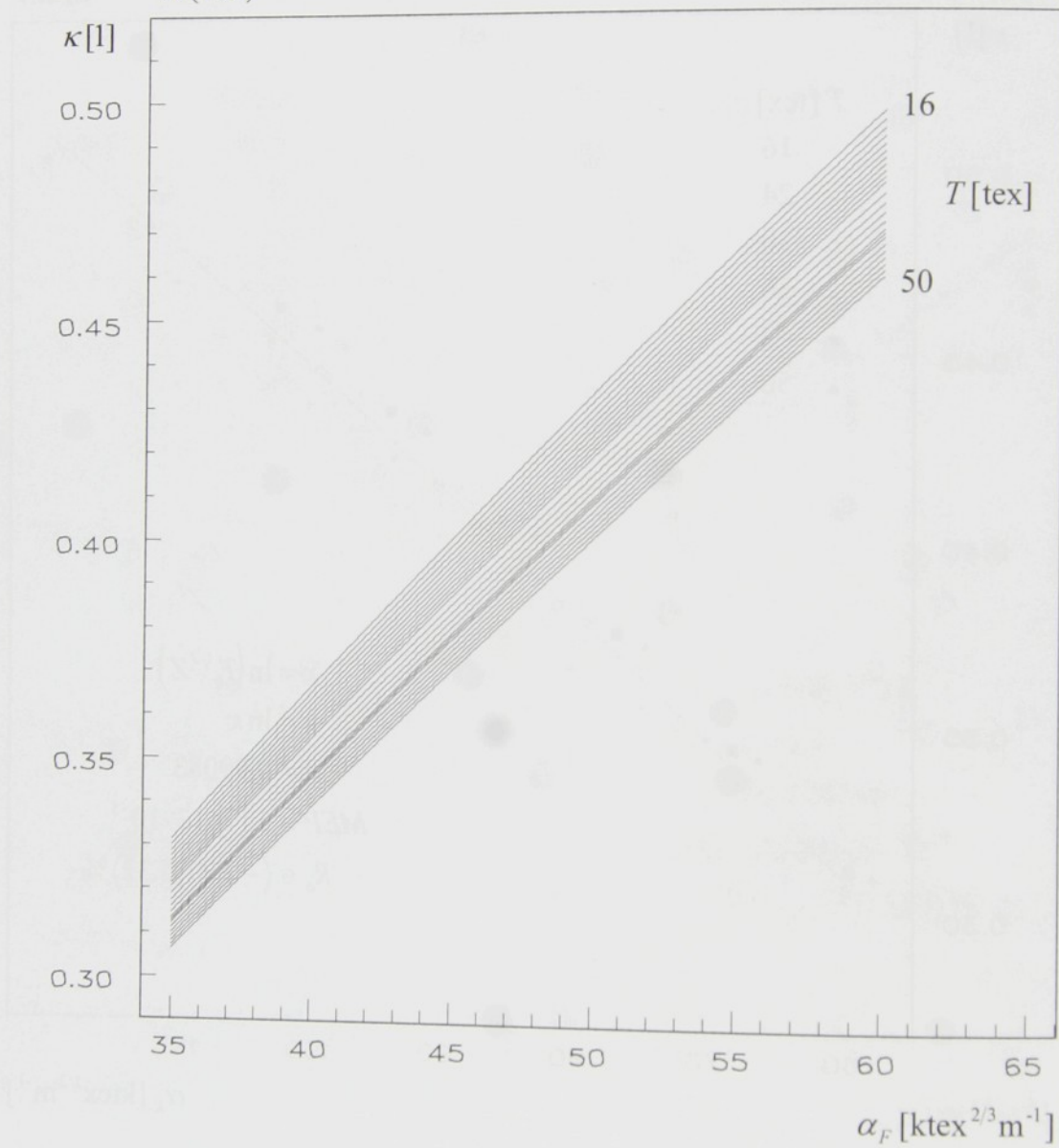
vl (100)

Graf 9



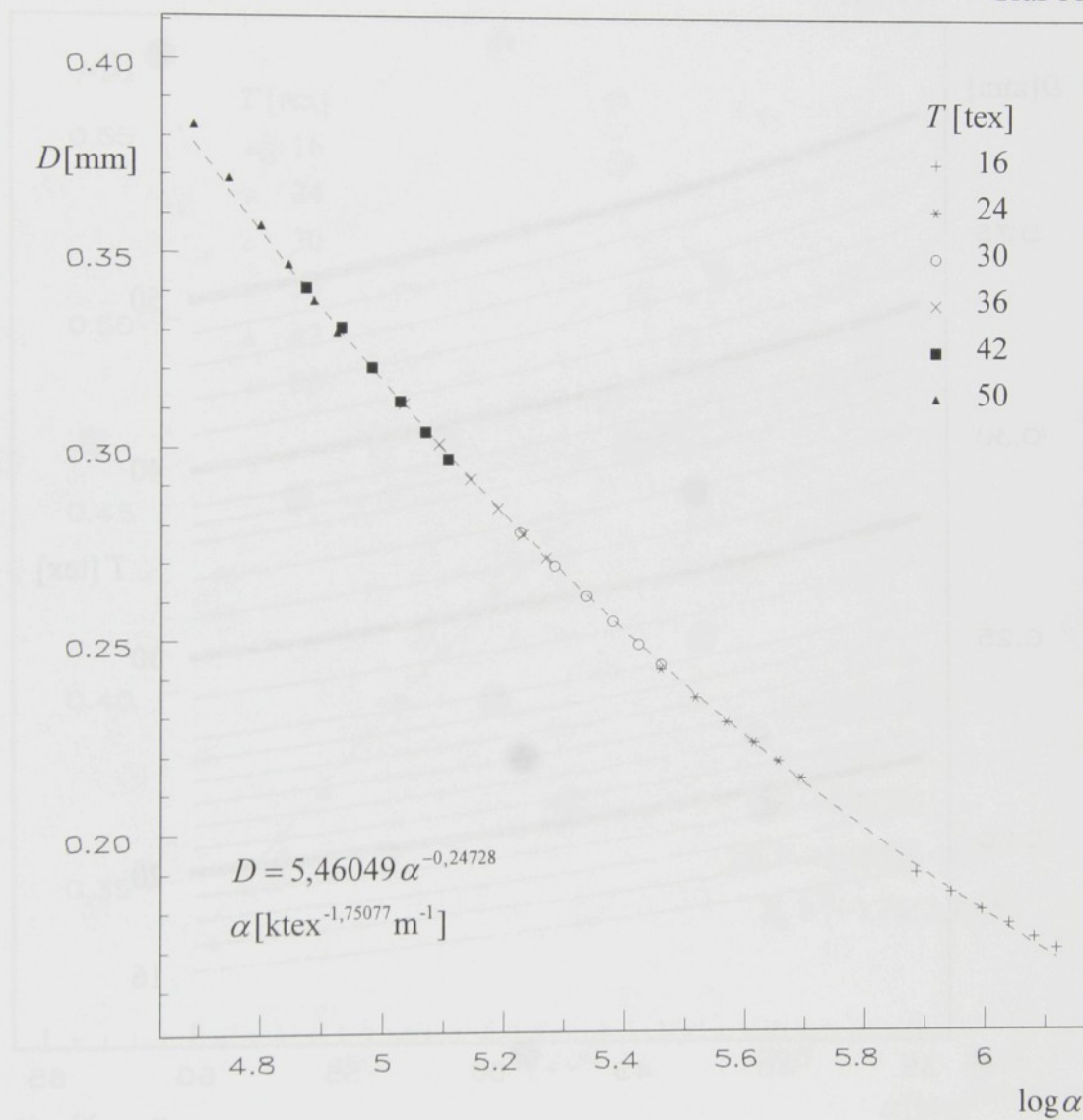
vl (100)

Graf 10



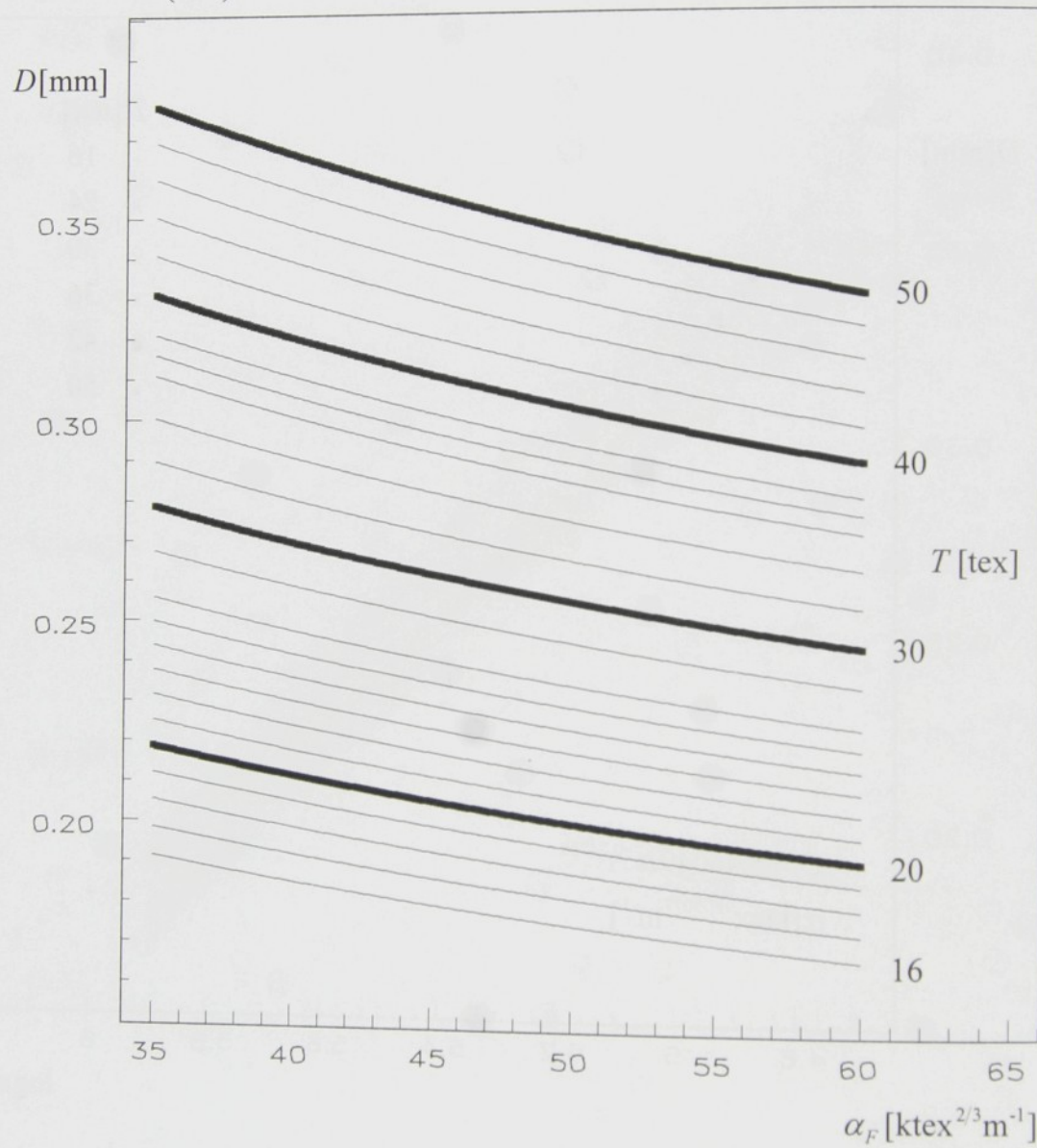
vl (100)

Graf 11



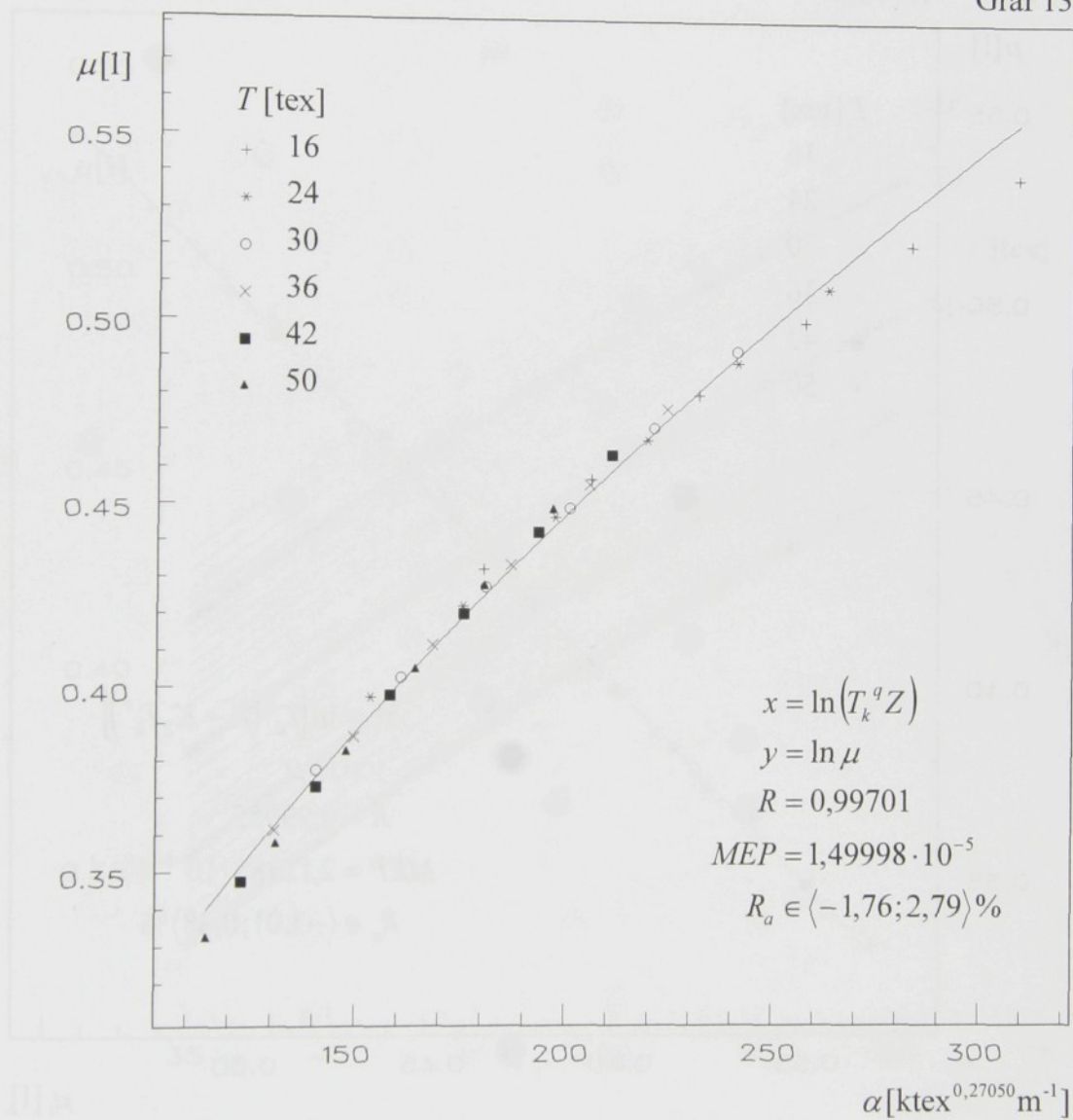
vl (100)

Graf 12



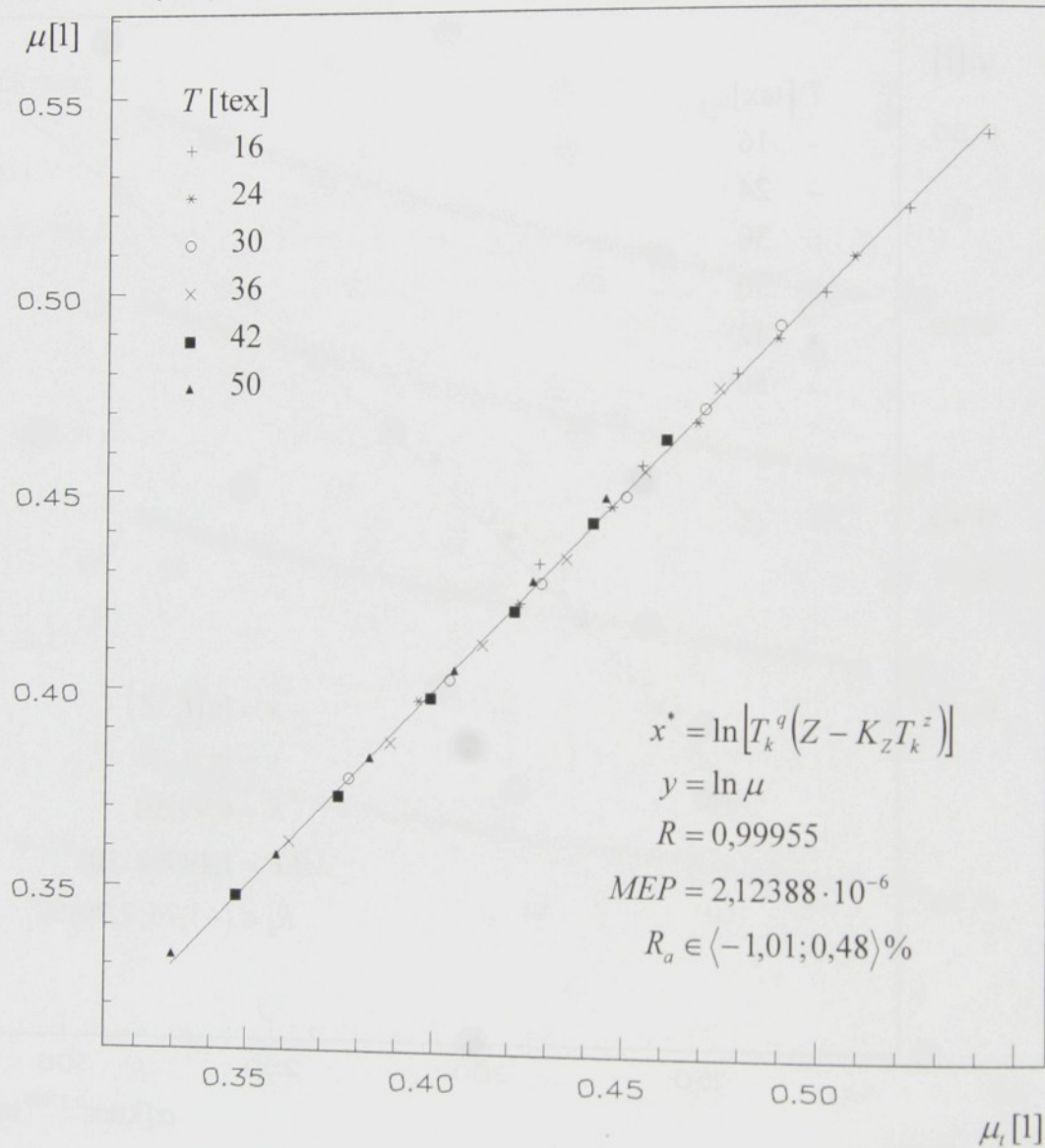
vl (100)

Graf 13



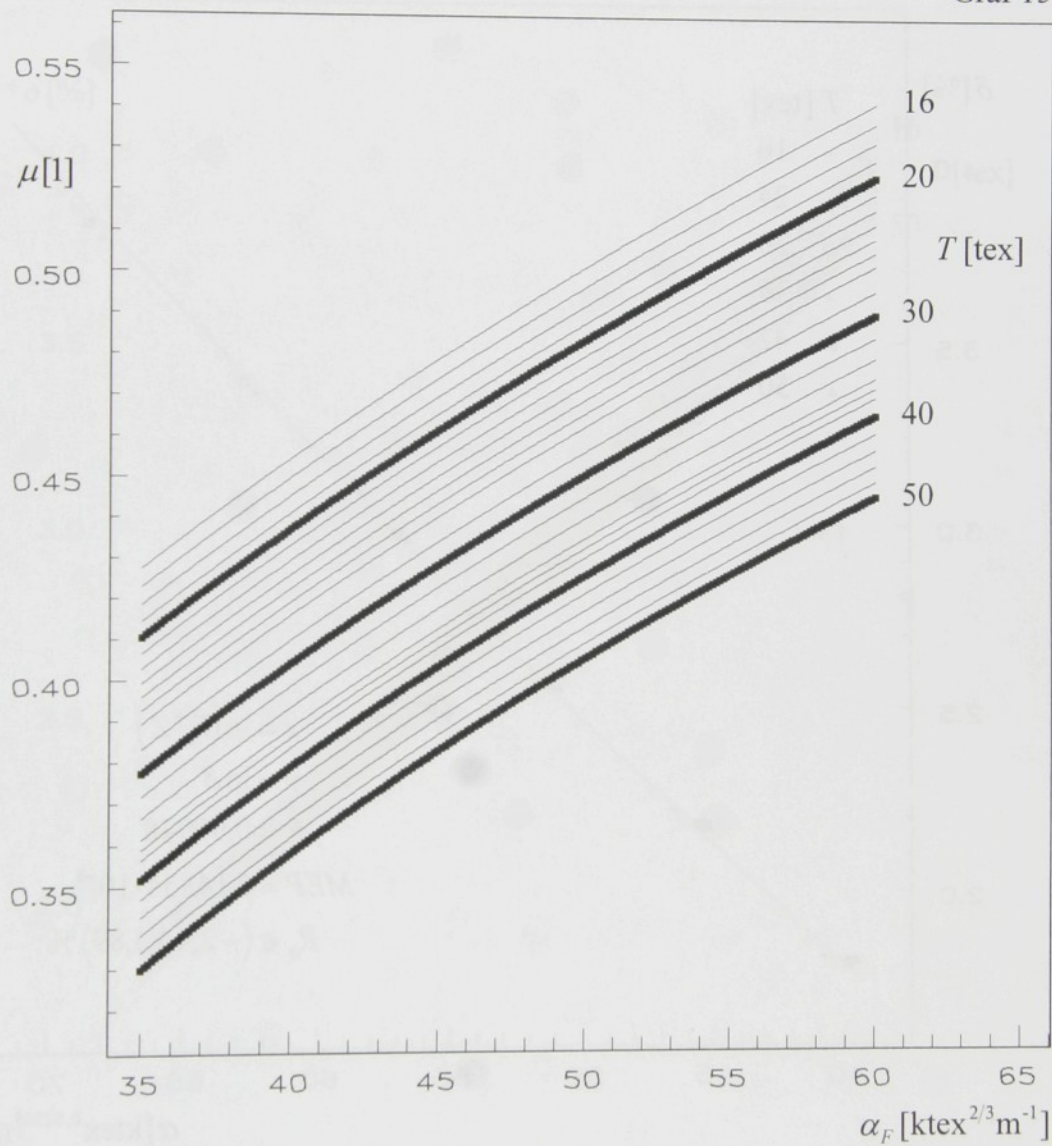
vl (100)

Graf 14



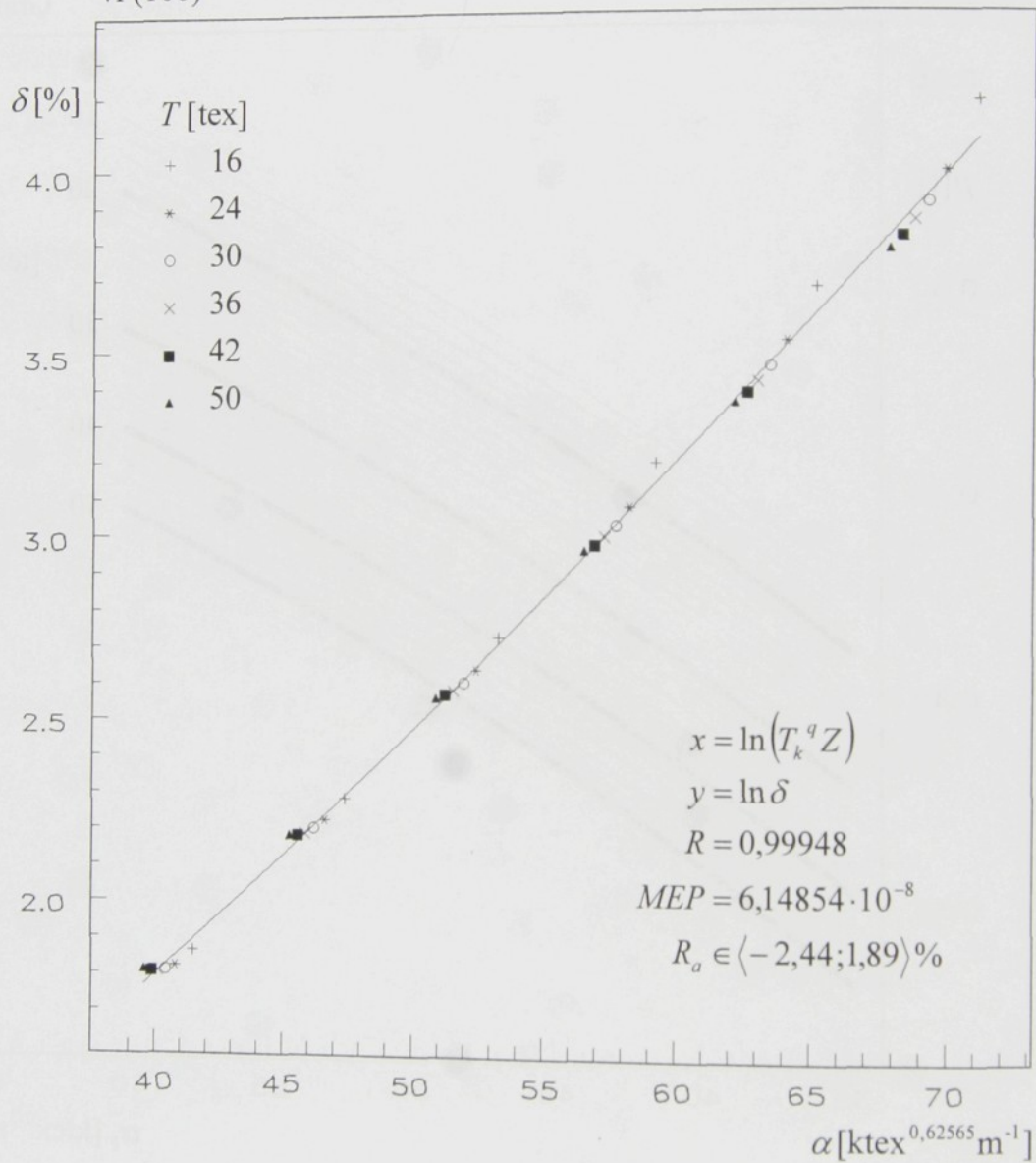
vl (100)

Graf 15



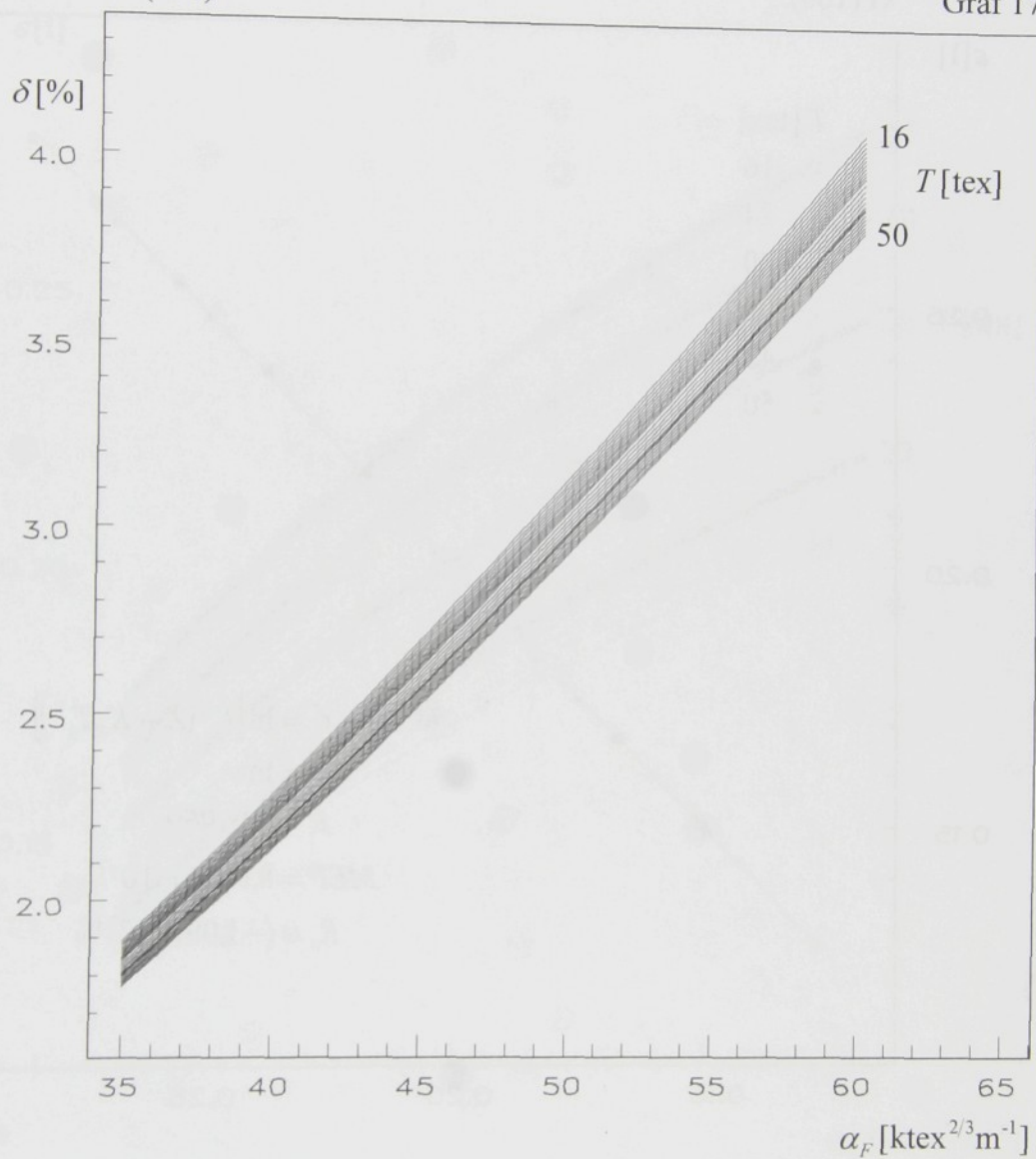
vl (100)

Graf 16



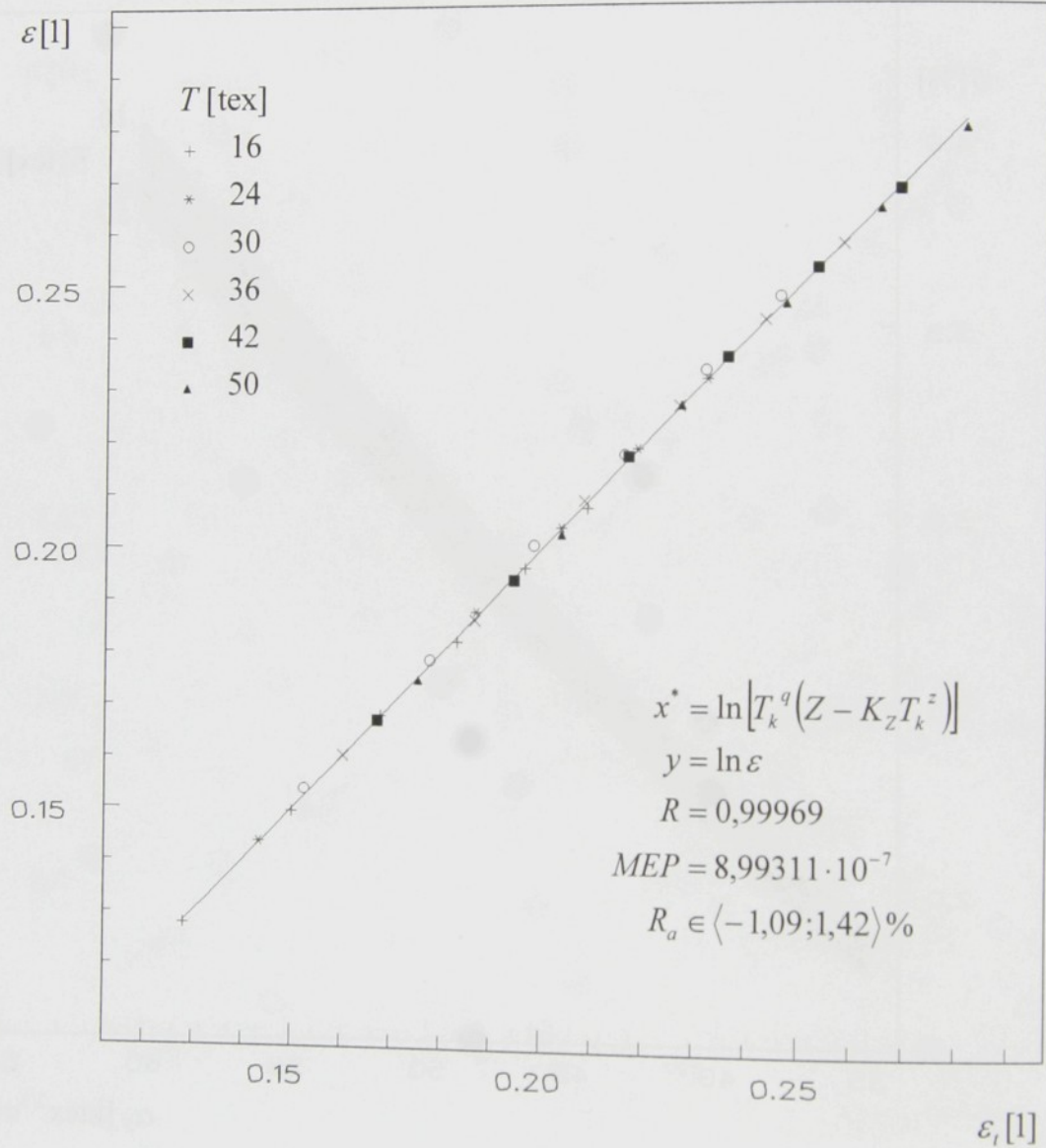
vl (100)

Graf 17



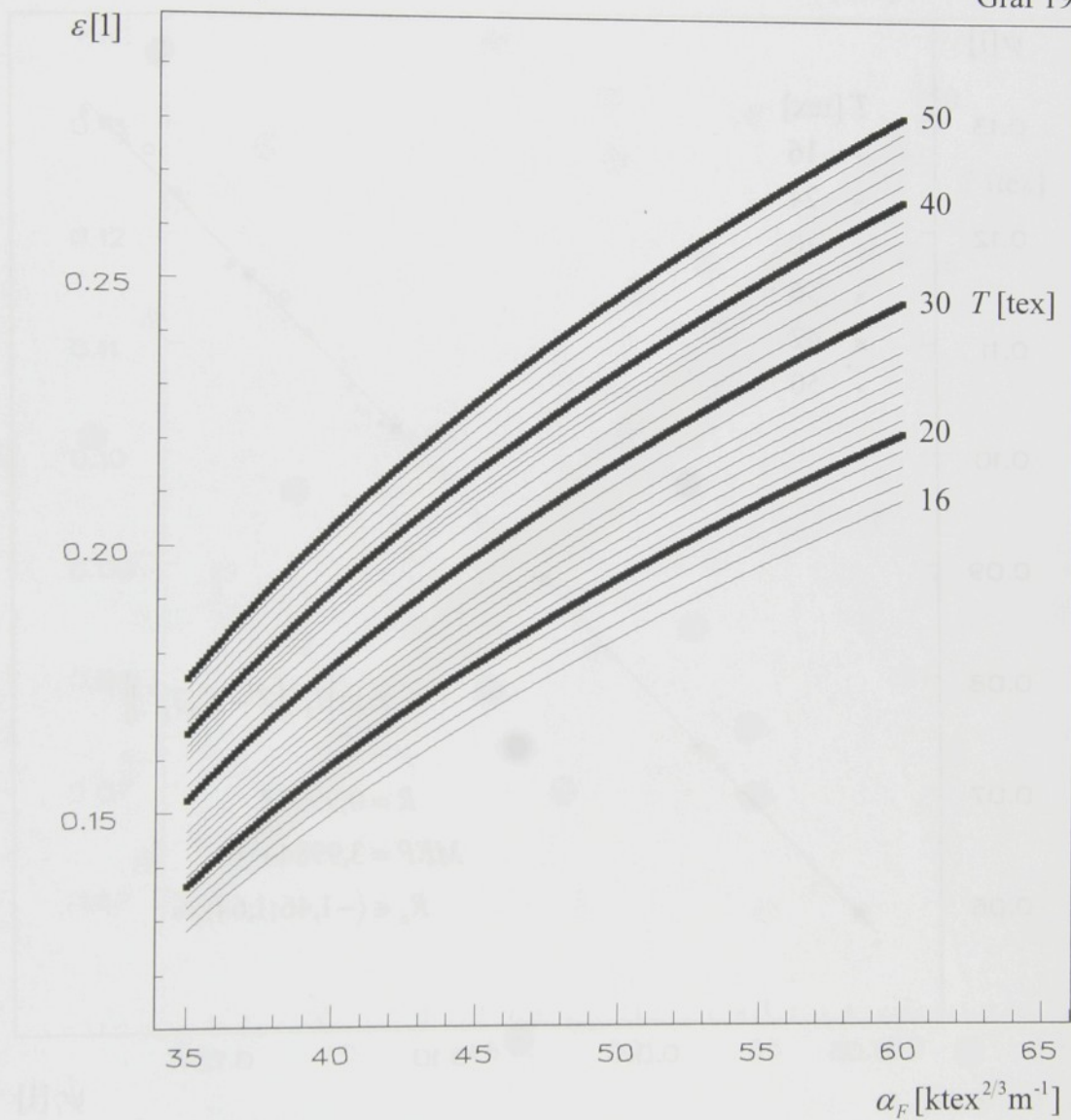
vl (100)

Graf 18



vl (100)

Graf 19



vl (100)

Graf 20

