

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2009

BC. DAGMAR PIVOŇKOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ
KATEDRA TEXTILNÍCH TECHNOLOGIÍ

**MODELOVÁNÍ VLASTNOSTÍ PŘÍZÍ
VYROBENÝCH Z POLYPROPYLENOVÝCH
VLÁKEN**

**PREDICTION OF POLYPROPYLENE YARN
PROPERTIES**

Vedoucí diplomové práce: Doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková
Konzultant: Ing. Gabriela Krupincová

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 105

Počet příloh: 3 + CD

Počet tabulek: 13

Počet obrázků: 64

Liberec 2009

Bc. DAGMAR PIVOŇKOVÁ

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 28. května 2009

.....

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí diplomové práce Doc. Dr. Ing. Daně Křemenákové a konzultantce Ing. Gabriele Krupincové za cenné rady a připomínky, které mi poskytly při vypracování diplomové práce. Dále děkuji všem pracovníkům z KTT a KTM za pomoc při práci na experimentu.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala celé své rodině za duševní a materiální podporu během celého studia a bez nichž by tato práce nikdy nevznikla.

Anotace

Cílem práce je studium mechanických vlastností vláken, vlákenných svazků a přízí. Rešeršní část je věnována obvyklým vlastnostem polypropylenu, mechanickým vlastnostem jednotlivých vláken, vlákenných svazků a přízí, dále popisu možnosti predikce pevnosti svazku vláken a pevnosti přízí a jejich vyjádření pro 100 % bavlněné a syntetické příze. V experimentální části byly nejdříve proměřeny vybrané vlastnosti dvou typů 100 % PP vláken a to délka, pevnost a tažnost. U těchto vlastností byl sledován vliv použitého způsobu měření a materiálu. Na základě experimentu byl nalezen pro predikci zaplnění, průměru a poměrné pevnosti 100 % PP přízí odlišný mechanismus oproti 100 % bavlněným přízím. Při sledování vlivu zákrutu na pevnost se podařilo modifikací vztahu pro bavlnu dosáhnout predikce odpovídající experimentu. Výsledkem je návrh modelu pro projektování zaplnění, průměru a poměrné pevnosti pro dva soubory třinácti kompaktních mykaných 100 % PP přízí o stejné jemnosti, ale různých zákrutech.

Annotation

The aim of this work is to study the mechanical properties of fibers, fiber bundles and yarns. The search part is devoted to the usual characteristics of polypropylene, the mechanical properties of individual fibers, fiber bundles and yarns, as well as a description of the possibility of prediction of fiber bundle strength and the strength of yarns and their observations on 100% cotton and synthetic yarn. In the experimental section were first measured the characteristics of the selected two types of 100 % PP fibers and the length, strength and elongation. For these properties has been monitoring the impact of the measurement method and material. On the basis of the experiment was found for the prediction of packing density, and the diameter of the proportional strength of 100 % PP yarns different mechanism compared with 100% cotton yarns. In monitoring the impact of twist on the strength of the relationship was a modification of cotton to achieve adequate prediction experiment. The result is a draft model for designing packing density, and the diameter proportional to the strength of two sets of thirteen compact carded 100% PP yarn fineness of the same, but different twist.

Klíčová slova:

Polypropylen

Vlákno

Vlákenný svazek

Příze

Pevnost

Mechanické vlastnosti

Keywords:

Polypropylene

Fibre

Fibre bundles

Yarn

Strength

Mechanical properties

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	- 10 -
ÚVOD.....	- 15 -
1. REŠERŠNÍ ČÁST.....	- 17 -
1.1 POLYPROPYLEN.....	- 17 -
1.1.1 Chemické složení a struktura.....	- 17 -
1.1.2 Výroba polypropylenu	- 18 -
1.1.3 Vlastnosti polypropylenu	- 18 -
1.1.4 Použití.....	- 19 -
1.2 VLÁKNO.....	- 20 -
1.2.1 Geometrické vlastnosti vláken	- 20 -
1.2.1.1 Délka vláken.....	- 20 -
1.2.1.2 Jemnost vláken	- 21 -
1.2.1.3 Průměr vláken.....	- 21 -
1.2.1.4 Cirkularita.....	- 22 -
1.2.1.5 Ovalita	- 22 -
1.2.1.6 Tvarový faktor	- 22 -
1.2.1.7 Měrný povrch	- 22 -
1.2.1.8 Štíhlost.....	- 22 -
1.2.1.9 Zobloučkování (navlnění).....	- 23 -
1.2.2 Mechanické vlastnosti vláken	- 24 -
1.2.3 Vliv podmínek testování na průběh a výsledky mechanických vlastností.....	- 28 -
1.2.3.1 Klimatické podmínky	- 28 -
1.2.3.2 Upínací délka.....	- 29 -
1.2.3.3 Rychlost zatěžování (deformace).....	- 31 -
1.2.3.4 Předpětí.....	- 32 -
1.3 VLÁKENNÝ SVAZEK	- 32 -
1.3.1 Ideální svazek	- 32 -
1.3.2 Geometrické vlastnosti vlákenného svazku.....	- 33 -
1.3.2.1 Jemnost svazku.....	- 33 -
1.3.2.2 Počet vláken ve vlákenném svazku.....	- 33 -
1.3.3 Mechanické vlastnosti vlákenného svazku	- 33 -
1.3.3.1 Využití pevnosti a tažnosti svazků podle B. Neckáře	- 35 -
1.3.3.2 Pevnost svazků podle N. Pana	- 37 -
1.4 PŘÍZE.....	- 40 -
1.4.1 Geometrické vlastnosti přízí	- 40 -
1.4.1.1 Jemnost.....	- 40 -
1.4.1.2 Zaplnění.....	- 41 -
1.4.1.3 Průměr	- 43 -
1.4.1.4 Poměrná jemnost	- 44 -

1.4.1.5	Zákrut	- 44 -
1.4.1.6	Šroubovicový model příze	- 45 -
1.4.1.7	Intenzita zákrutu	- 46 -
1.4.1.8	Zákrutový koeficient	- 47 -
1.4.1.9	Charakteristiky uspořádání vláken v přízi	- 47 -
1.4.1.10	Nestejněměrnost	- 48 -
1.4.1.11	Chlupatost	- 49 -
1.4.2	<i>Mechanické vlastnosti přízí</i>	- 50 -
1.4.3	<i>Metody predikce pevnosti přízí</i>	- 51 -
1.4.3.1	Predikce pevnosti přízí podle A. N. Solověva	- 51 -
1.4.3.2	Predikce pevnosti přízí podle B. Neckáře	- 52 -
1.4.3.3	Predikce pevnosti přízí podle N. Pana	- 56 -
1.4.4	<i>Predikce pevnosti bavlněných přízí</i>	- 57 -
1.4.5	<i>Predikce pevnosti syntetických přízí</i>	- 57 -
1.5	TEORETICKÁ ÚVAHA	- 58 -
2.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	- 59 -
2.1	POSTUP VÝROBY PP STRÍŽE	- 59 -
2.1.1	<i>Použité výrobní zařízení</i>	- 59 -
2.2	VLASTNOSTI VLÁKEN	- 59 -
2.2.1	<i>Délka vláken</i>	- 60 -
2.2.2	<i>Jemnost vláken</i>	- 62 -
2.2.3	<i>Tahové křivky</i>	- 63 -
2.2.3.1	Příprava vzorků	- 64 -
2.2.3.2	Klimatické podmínky	- 65 -
2.2.3.3	Měření	- 65 -
2.2.3.4	Vyhodnocení	- 66 -
2.2.4	<i>Celkové vyhodnocení naměřených vlastností vláken</i>	- 73 -
2.3	VLASTNOSTI VLÁKENNÝCH SVAZKŮ	- 74 -
2.4	VLASTNOSTI PŘÍZÍ	- 77 -
2.4.1	<i>Zaplnění příze</i>	- 78 -
2.4.2	<i>Výpočet parametru materiálu a technologie M</i>	- 79 -
2.4.3	<i>Průměr příze</i>	- 85 -
2.4.4	<i>Koeficient počtu vláken</i>	- 88 -
2.4.5	<i>Počet vláken</i>	- 90 -
2.4.6	<i>Pevnost příze</i>	- 91 -
2.4.7	<i>Porovnání predikce vlastností PP a bavlněných přízí</i>	- 96 -
3.	ZÁVĚR	- 99 -
	LITERATURA	- 101 -
	SEZNAM PŘÍLOH	- 105 -

Seznam použitých zkratek a symbolů

s_{σ_v}	[N/tex]	Směrodatná odchylka pevnosti vláken
$\overline{\delta_v}$	[%]	Střední hodnota relativní chyby predikce pevnosti vláken
$H(\sigma_s)$		Distribuční funkce normálního rozdělení pevnosti vláken ve svazku
$\overline{\sigma_s}$	[N/tex]	Střední hodnota pevnosti svazku vláken
$\overline{x}$		Aritmetický průměr
v_{σ_v}	[%]	Variační koeficient pevnosti vláken
$\overline{P}$	[N/tex]	Míra využití střední poměrné pevnosti vláken
P^*	[N/tex]	Poměrná pevnost vlákenného svazku
$\overline{a}$	[%]	Využití střední tažnosti vláken
a^*	[%]	Tažnost vlákenného svazku
$\overline{\delta_v}$	[N/tex]	Střední hodnota pevnosti vláken
$s_{\overline{\delta_v}}$	[N/tex]	Směrodatná odchylka pevnosti vláken
$\overline{\sigma_v}$	[N/tex]	Střední hodnota relativní pevnosti vláken
$\overline{\xi}$	[-]	Mechanicky vyrovnatelné napětí
ϕ_{sp}^*	[-]	Korigované využití pevnosti svazku vláken v přízi
η_{β}^*	[-]	Korigovaný faktor orientace podle N. Pana
$\overline{P_P}$	[N]	Pierceův model rozložení pevnosti
$\overline{P_N}$	[N]	Střední hodnota pevnosti podle Neckáře na úseku délky l
ε	[%]	Tažnost vlákna
λ	[-]	Zobloučkování (navlnění) vlákna
A	[-]	Štíhlost vlákna
ρ	[kg/m ³]	Měrná hmotnost vlákna
σ	[Pa]	Napětí do přetrhu
ν	[-]	Poissonův poměr příčné kontrakce
β	[rad]	Úhel stoupání šroubovice obecného vlákna příze
ζ	[-]	Faktor navlnění
ψ	[-]	Součinitel vlivu technologie
δ	[%]	Relativní chyba predikce
φ	[-]	Vliv sklonu vláken
ϕ	[-]	Vliv navlnění vláken
χ	[-]	Vliv prokluzu vláken
ϖ	[-]	Vliv vlákenné migrace
η	[-]	Poissonův poměr příze
ε_{Σ}	[%]	Tažnost vlákenného svazku
η_{β}	[-]	Faktor orientace
$\Gamma()$		Gama funkce
ξ_0	[mm]	Konstanta materiálu
η_a	[-]	Využití tažnosti vláken

σ_b	[N/tex]	Pevnost bavlněných přízí
ϕ_c	[-]	Konstantní vliv navlnění
β_d	[rad]	Úhel stoupání šroubovice povrchového vlákna příze
σ_{HVI}	[N/tex]	Relativní pevnost svazku vláken měřená na zřízení HVI
α_k	[ktex ^{1/2} m ⁻¹]	Köchlinův kritický zákrutový koeficient
ϕ_{kluz}	[-]	Vliv navlnění způsobený prokutej vláken
η_{kor}	[-]	Korigovaný Poissonův poměr příze
Δl	[mm]	Protážení do přetrhu
σ_N	[Pa]	Směrodatná odchylka podle Neckáře na úseku délky l
σ_n	[Pa]	Směrodatná odchylka n -tého úseku upínací délky l
η_p	[-]	Využití pevnosti vláken
σ_p	[N/tex]	Poměrná pevnost v tahu příze
ε_p	[%]	Poměrné prodloužení
σ_s	[N/tex]	Relativní pevnost svazku vláken
ϕ_{sp}	[-]	Využití pevnosti svazku v přízi
σ_{syn}	[N/tex]	Pevnost syntetických přízí
σ_t	[Pa]	„True stress“ (napětí s konstantním objemem po deformaci)
ε_T	[mm]	Příčné zkrácení vlákna
σ_v	[N/tex]	Relativní pevnost vláken
ϕ_{vp}	[-]	Využití pevnosti vláken v přízi
ϕ_{vs}	[-]	Využití pevnosti vláken ve svazku
α_y		Parametr Weibullova rozdělení
β_y		Parametr Weibullova rozdělení
a	[ktex ^{2/3} m ⁻¹]	Phrixův zákrutový koeficient
A	[m ² /kg]	Měrný povrch (makro) vlákna
a_1, a_2		Koeficienty regrese
A_j	[%]	Odchylka měření délek vláken
b	[-]	Číslo třídy s nejdelšími vlákny
c	[-]	Cirkularita
c_j		Počet vrcholů obloučků na délce vlákna 20 mm
CV_{ef}	[%]	Kvadratická hmotová nestejnomyšnost
CV_f	[%]	Výrobní kvadratická hmotová nestejnomyšnost
CV_{lim}	[%]	Limitní kvadratická hmotová nestejnomyšnost
d	[mm]	Průměr vlákna po deformaci
D	[mm]	Průměr příze
$d\varepsilon$	[mm]	Přírůstek prodloužení
$d\sigma$	[Pa]	Přírůstek napětí
d_0	[mm]	Průměr vlákna před deformací
d_e	[mm]	Ekvivalentní průměr vlákna
D_{ef}	[mm]	Efektivní průměr příze

dl	[mm]	Přírůstek délky
D_s	[mm]	Substanční průměr příze
dt	[min]	Přírůstek času
d_v	[mm]	Průměr vlákna
$d\Delta l$	[mm]	Přírůstek délky po prodloužení
E	[Pa]	Yongův modul pružnosti
f	[-]	Součinitel tření
F	[N]	Absolutní síla vlákna
f_α	[-]	Součinitel vlivu zákrutu příze
F_Σ	[N]	Absolutní síla vlákenného svazku
$F(\sigma)$		Distribuční funkce Weibullova rozdělení
$f(u_\alpha)$		Hustota pravděpodobnosti normálního rozdělení
$F(u_\alpha)$		Distribuční funkce normálního rozdělení
F_0	[N]	Předpětí
f_l	[-]	Součinitel vlivu délky vláken
f_n	[-]	Součinitel vlivu počtu vláken
F_p	[N]	Absolutní síla příze
f_{zi}	[-]	Relativní množství počtu vláken
g_1	[-]	Hmotnostní podíl ve vlákenném svazku 1. komponenty
g_2	[-]	Hmotnostní podíl ve vlákenném svazku 2. komponenty
h	[mm]	Vzdálenost koncových bodů vlákna nebo vlákenných svazků
H		Hustota obloučků vlákna na 10 mm
I		Konstanta ve vztahu k upínací délce l
$IS\ d$		95 % konfidenční interval spolehlivosti maximální (pro dolní mez)
$IS\ h$		95 % konfidenční interval spolehlivosti maximální (pro horní mez)
J		Konstanta ve vztahu k upínací délce l
k_n	[-]	Koeficient počtu vláken
k_s	[-]	Koeficient migrace
KTM		Katedra textilních materiálů
KTT		Katedra textilních technologií
l	[mm]	Délka prodloužení textilního útvaru
L	[km]	Délka příze
l_0	[mm]	Upínací délka
l_j	[mm]	Průměrné hodnota j -té třídy délky vlákna
l_N	[mm]	Nominální délka vláken
l_n	[mm]	Délka n -tého úseku upínací délky l
l_v	[km]	Délka vlákna
l_-	[mm]	Průměrná vzdálenost mezi dvěma konci vyrovnaného vlákna
m	[g]	Hmotnost příze
M	[m]	Materiálově technologický parametr

m_{sv}	[g]	Hmotnost vlákenného svazku
m_{sv1}	[g]	Hmotnost vláken ve vlákenném svazku 1. komponenty
m_{sv2}	[g]	Hmotnost vláken ve vlákenném svazku 2. komponenty
m_v	[g]	Hmotnost vlákna
n	[-]	Počet vláken
n_1	[-]	Počet vláken ve vlákenném svazku 1. komponenty
n_2	[-]	Počet vláken ve vlákenném svazku 2. komponenty
n_{ot}	[mm ⁻¹]	Otáčky zákrutového ústrojí
n_r	[-]	Reálný počet vláken v průřezu příze
o	[-]	Ovalita vlákna
p	[mm]	Obvod vlákna
P	[N]	Pevnost vlákna
P_{Σ}	[N]	Pevnost vlákenného svazku
p_e	[mm]	Obvod ekvivalentního kruhu o ploše rovné ploše vlákna
P_n	[N]	Pevnost n -tého úseku upínací délky l
PP		Polypropylenová vlákna
P_p	[N]	Pevnost příze
q	[-]	Tvarový faktor vlákna
r	[mm]	Obecný poloměr příze
R	[N/tex]	Poměrná pevnost vlákna
R_{Σ}	[N/tex]	Poměrná pevnost vlákenného svazku
r_c	[mm]	Konstantní poloměr příze
R_p	[N/tex]	Poměrná pevnost příze
s	[mm ²]	Plocha příčného řezu vlákna po deformaci
S	[mm ²]	Substanční plocha příze
s^*	[mm ²]	Plocha příčného řezu vlákna, jehož osa tvoří šroubovici s úhlem stoupání β
s_0	[mm ²]	Plocha příčného řezu vlákna před deformací
s^2	[-]	Rozptyl
S_c	[mm ²]	Celková plocha příze
Sc_k	[mm ²]	Plocha k -tého mezikruží, kde $k = 1, 2, 3, \dots, l$
s_e	[mm ²]	Plocha ekvivalentního kruhu o obvodu vlákna p
S_k	[mm ²]	Souhrnná plocha vláken v k -tém mezikruží
s_o	[-]	Směrodatná odchylka
S_r	[mm ²]	Reálná součtová plocha vláken v průřezu příze
S_{sv}	[mm ²]	Plocha příčného řezu vlákenného svazku
s_v	[mm ²]	Plocha příčného řezu vlákna
t	[sec]	Celkový čas zkoušky
T	[tex]	Jemnost příze
T_{sv}	[tex]	Jemnost svazku vláken
t_v	[tex]	Jemnost vlákna

t_{v1}	[tex]	Jemnost vlákna 1. komponenty
t_{v2}	[tex]	Jemnost vlákna 2. komponenty
u		Konstanta pro aproximační vztah
u_a	[-]	Parametr
U_{ef}	[%]	Lineární hmotová nestejnomyěrnost
U_f	[%]	Výrobní lineární hmotová nestejnomyěrnost
U_{lim}	[%]	Limitní lineární hmotová nestejnomyěrnost
v	[mm/min]	Rychlost průběhu zkoušky
V	[m ³]	Objem po deformaci
V_0	[m ³]	Objem vlákna před deformací
v_1, v_2	[mm/min]	Rychlost posuvu příčnicku
v_a	[-]	Variační koeficient tažnosti
V_c	[m ³]	Celkový objem příze
V_f	[-]	Objemový podíl vláken
v_k	[%]	Variační koeficient
v_p	[%]	Variace průřezu vlákna
$v_{pr.}$	[mm/min]	Rychlost posuvu příčnicku
V_v	[m ³]	Objem vláken
v_ε	[mm/min]	Rychlost deformace
w	[J/tex]	Měrná deformační práce
W	[J]	Deformační práce potřebná k přetržení vlákna
x_{MAX}		Maximální hodnota
x_{MIN}		Minimální hodnota
Z	[m ⁻¹]	Počet zákrutů
z_j	[-]	Množství vláken j -té třídy délek vláken
$ZS1$		Příze 1. zákrutové studie
$ZS2$		Příze 2. zákrutové studie
α	[ktex ^{1/2} m ⁻¹]	Köchlinův zákrutový koeficient
γ	[kg/m ³]	Hustota vlákenného útvaru
δ_{sv}	[N/tex]	Poměrná pevnost vlákenného svazku
δ_v	[N/tex]	Pevnost vlákna
κ	[-]	Intenzita zákrutu
μ	[-]	Zaplnění
μ_{ef}	[-]	Efektivní zaplnění
μ_k	[-]	Radiální zaplnění k -tého mezikruží, kde $k = 1, 2, 3, \dots, l$
μ_m	[-]	Mezní zaplnění
$\Sigma \square$		Suma minimálních odchylek nejmenších čtverců
τ	[-]	Poměrná jemnost příze

Úvod

Textilní průmysl je v současné době na třetím místě mezi všemi průmyslovými odvětvími. Jedním z důvodů významu textilu je stálá spotřeba oděvních textilií, která souvisí s rostoucí lidskou populací. Dalším důvodem je, že se textilní struktury využívají jako kompozitní a technické materiály. Významně narůstá podíl textilních struktur v medicíně, také vznikají nové obory, jako je textilní (oblékač) elektronika, textilní počítače nebo součásti počítačů. V průmyslově vyspělých zemích se spotřeba textilu pohybuje kolem 25 – 30 kg na člověka za rok.

S rozvojem různých sportovních aktivit a současně s nebezpečností některých povolání se začal klást velký důraz na další funkce oděvních materiálů. Požadavky, které se v dnešní době běžně kladou na oděvní materiály, jsou optimální řízení vlhkosti, tepelných toků nebo prodyšnosti vzduchu, zlepšená tepelná izolace, propustnost vodních par a ochrana proti nebezpečným vlivům. Dále jsou kladeny požadavky na ekologickou výrobu a likvidaci, samo-čistící efekty, vylepšování odolnosti proti oděru, snadnou údržbu, estetické projevy nebo zlepšený omak. V medicíně to mohou být požadavky pro zlepšení hojení ran, podporu péče o zdraví nebo životních funkcí. U technických textilií vysoká pevnost, nízká deformabilita, odolnost vůči působení okolí (UV, vlhkost, hnití), oděru nebo tepelnému působení, absorpce rázů (šokových zatížení), snadná skladovatelnost a pomalé stárnutí.

V dnešním světě se s technickými textiliemi můžeme setkat téměř kdekoli. Mezi největší spotřebitele technických textilií patří automobilový průmysl. Dnes na každý automobil připadá kolem 20 kg textilií, což při počtu 45 milionů aut, které jsou vyprodukovány ročně, dělá asi 0.95 milionů tun. Další odvětví využívající velké množství textilií je stavební průmysl, kde se textilie používají např. k zesílení betonu, odlehčení konstrukcí, jako nafukovací haly, izolace proti chladu a teplu, na vnitřní a vnější pokrytí nebo jako oddělování prostor. V architektuře jsou využívány, protože jsou lehké, relativně pevné, snadno tvarovatelné, rozebíratelné nebo barvitelné, také průsvitné, svítící a ekonomické. Využívají se také ve zdravotnictví, zemědělství, při výrobě nábytku a v mnoha dalších průmyslových odvětvích [1].

Při řešení úloh spojených se zabezpečením textilní výroby a vývojem nových aplikací již nestačí běžný přístup, který je založený na empirii a znalostech (metoda pokusů a omylů), ale je potřeba nezbytný systematický přístup. Nové materiály,

technologie a aplikace vyžadují nové techniky, které např. předpovídají vlastnosti textile, aniž by byla ještě vyrobena, optimalizují technologie se zaměřením na vlastnosti výrobku, vybírají optimální suroviny a předpovídají jakosti textilií zahrnující také pocity při nošení (komfort – omak, vzhled, atd.) [1], [2].

Mezi nejpoužívanější syntetické materiály, patří polyester, ale v poslední době se také často využívá polypropylén. Z textilních vláken má nejnižší nasákavost, velmi nízkou tepelnou vodivost, také nízkou hmotnost, je i velmi pevný a poměrně levný.

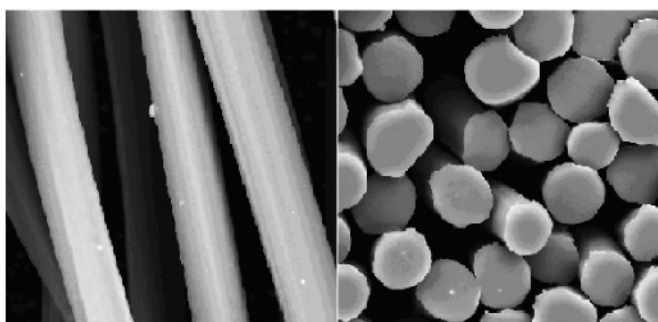
Cílem práce je řešit mechanické vlastnosti PP vláken, vlákenných svazků a přízí. V rešeršní části je úkolem popsat obecné vlastnosti polypropylenu, základní a mechanické vlastnosti jednotlivých vláken, vlákenných svazků a přízí. V experimentální části proměřit délku, pevnost a tažnost dvou typů 100 % PP vláken a sledovat vliv způsobu měření a materiálu na výsledné hodnoty. U vlákenných svazků proměřit pevnost a tažnost a porovnat s hodnotami vláken. Dále navrhnout model pro projektování zaplnění, průměru a pevnosti kompaktních mykaných 100 % PP přízí. Navržený model pro predikci PP přízí porovnat s postupem predikce bavlněných přízí.

1. Rešeršní část

V této kapitole je popisována chemická struktura, výroba, vlastnosti a použití polypropylenu. Dále jsou uvedeny definice základních a mechanických vlastností vláken, vlákenných svazků a přízí. U vlákenných svazků jsou navíc popisovány metody predikce pevnosti svazku vláken a u přízí metody predikce pevnosti přízí a jejich vyjádření pro 100 % bavlněné a syntetické příze. Jsou zde uvedeny i vlivy podmínek testování na průběh a výsledky mechanických vlastností.

1.1 Polypropylen

Polypropylenová vlákna (Obr. 1) se poprvé začala vyrábět na sklonku čtyřicátých let minulého století. Giulio Natta s využitím Zieglerových katalyzátorů propracoval roku 1954 výrobu izotaktického polypropylenu. Polypropylen vzniká polymerací propylenu (vedlejší produkt ropných rafinérií), za přítomnosti katalyzátorů a při pečlivé kontrole tlaku a teploty. Při výrobě polypropylenu bylo použito stereospecifické polymerace, při které se tvoří polymer s určitým prostorovým uspořádáním za pomoci katalyzátorů, které se nejčastěji používají v kombinaci TiCl_4 a $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ [3], [4].



Obr. 1 – Polypropylenová vlákna (podélný pohled a příčný řez) [5]

1.1.1 Chemické složení a struktura

Polypropylenový řetězec je tvořen uhlíkovými atomy, kde každý druhý atom nese metylovou boční skupinu ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$). Podle umístění metylové skupiny ($-\text{CH}_3$) v prostoru, vznikají tyto základní struktury polypropylenu:

- 1) **Izotaktická** (všechny $-\text{CH}_3$ skupiny, jsou nad nebo pod rovinou).
- 2) **Syndiotaktická** (pravidelné střídání $-\text{CH}_3$ skupiny nad a pod rovinou).
- 3) **Ataktická** (nepravidelné uspořádání $-\text{CH}_3$ skupiny).
- 4) **Stereoblokové** (střídání části izotaktické s částmi ataktickými).

V konečném produktu jsou zastoupeny všechny struktury. Nejlepší vlastnosti má polymer izotaktický, chová se jako typický krystalický polymer. Ataktický polypropylen vykazuje vysokou plastickou deformaci při nízkém napětí, tečení za studena, vysokou rozpustnost a nízkou tepelnou odolnost [4], [6].

1.1.2 Výroba polypropylenu

Polypropylen je vyráběn diskontinuální nebo kontinuální polymerací při 80 °C a tlaku 3 MPa. U diskontinuální výroby se používá nebo nepoužívá rozpouštědlo monomeru (např. heptan, benzín, apod.). Čistý propylen polymeruje v prostředí interního plynu a suchého rozpouštědla (např. heptanu). V reaktoru se pak sníží tlak, rozpouštědlo se odfiltruje a polymer se izoluje ve formě prášku, protože se použitím rozpouštědla nerozpouští. Katalyzátor se rozloží alkoholem, dále se polymer propláchne vodou a suší. Jako koagulační lázně lze při mokřém zvlákňování použít alkoholu či acetonu. Pro zpracování polypropylenu se používá zvlákňování z taveniny. Před zpracováním je třeba polypropylen upravit, přidáním vhodného barviva a světelného a tepelného stabilizátoru. Polypropylen lze zpracovávat vstřikováním, vytlačováním, žárovým stříkáním, nanášením prášku nebo lisováním.

Polypropylenová stříž je vyrobena technologií zvlákňování s taveniny za použití granulátu. Pro zlepšení zpracovatelských vlastností se na vlákno nanáší aviváž. V základu výroby mají vlákna bílou barvu, proto se pro výrobu barevných vláken přidávají ke granulátu pigmentová barviva.

Modifikovaným typem jsou vlákna, která se vyznačují stabilitou proti UV záření, nehořlavostí, antistatickou atd. Požadovaných vlastností se dosahuje přidáním k PP granulátu koncentráту na polypropylenovém nosiči zajišťující požadovanou modifikaci [4], [6] a [7].

PP vlákna se vyrábějí ve formě monofilu (jedno syntetické nekonečné vlákno), multifilu (více syntetických vláken) a stříže (vlákna o určité délce). Polypropylenová stříž může být různé jemnosti, délky stříhu a s různým počtem obloučků [8].

1.1.3 Vlastnosti polypropylenu

Mezi výhody polypropylenu patří odolnost vůči oděru a proti chemikáliím. Dále se vyznačuje nízkou měrnou hmotností, trvanlivostí, snadnou formovatelností, nízkým sklonem k nabíjení statickou elektřinou, minimální navlhavostí, nízkým sklonem ke žmolkování. Je inertní vůči bakteriím a plísním.

Naopak k jeho nevýhodám patří nízká schopnost zotavení po deformaci, malá odolnost proti účinkům světla, nízká odolnost vůči vysokým teplotám. Nedá se povrchově barvit, má nepříjemný omak a malou tuhost [10], [9] a [11].

Základní parametry vlákna jsou dány průměrem použitých zvláknovacích trysek, rychlosti odtahových válců, stupněm dloužení, stupněm zkadeření a vzdáleností nožů na řezacím kole [8]. Vlastnosti běžně vyráběných polypropylenových vláken jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 – Vlastnosti běžně vyráběných polypropylenových vláken [9]

Vlastnosti	Hodnoty
Koeficient tření	0,24
Pevnost	1,5 – 6 cN/dtex
Pevnost za mokra	100%
Tažnost	15 – 60%
Tažnost za mokra	44%
Srážlivost v horké vodě	0 – 5%
Teplota žehlení	max. 130°C
Teplota měknutí	149 – 154°C
Teplota tání	165 – 170°C
Měrná hmotnost	910 kg m ⁻³
Jemnost vláken	1,1 – 22 dtex
Tepelná vodivost	0,1 – 0,3 Wm ⁻¹ K ⁻¹
Specifické teplo	83 – 86 kJ mol ⁻¹ K ⁻¹

1.1.4 Použití

Polypropylenová vlákna se používají nejčastěji ve směsi s jinými syntetickými nebo přírodními vlákny jako např. geotextilie, vlákenná rouna pro podklad na nejrůznější laminované produkty, podkladové tkaniny, pletené sportovní oděvy (termoprádlo) nebo ponožky. Dále se uplatňují při výrobě funkčních a outdoorových oděvů [10].

Velké uplatnění mají i v oblasti technických textilií. Novou generaci polypropylenových vláken, lze použít jako výztuž betonu k omezování plastického smršťování, odstraňování vzniku trhlin, schopnosti odolávat nárazům a tím redukovat škody vzniklé při manipulaci a přepravě. Ve směsi jsou vlákna rozdělována rovnoměrně, proto se zvyšuje počáteční pevnost betonu, homogenita, vodotěsnost, odolnost vůči mrazům, požárům a nárazům. Vlákenná příměs zlepšuje také mnoho vlastností nivelačních hmot (např. stěrek, malty, omítek, podkladních betonů, potěrů, základů, zahradních zídek, sklepních zdí, stříkaného betonu a okapových dlaždic apod.) [1], [12].

Vlákna z polypropylenu přetrvávají v organismu prakticky po neomezenou dobu, proto se využívají například v kardiochirurgii [13].

Polypropylen je také možné použít v řadě aplikací, jako jsou obalové materiály, textil (lodní lana, popruhy, koberce, přikrývky, ochranné obleky, rybářské sítě), laboratorní vybavení, reproduktory, automobilové části. Dále také pro výrobky hygienického charakteru (např. dámské vložky, dětské kalhotky a roušky) [4], [14].

1.2 Vlákn

Vlákn je dostatečně dlouhý a tenký útvar. Je to textilie jemná, ohebná, pružná, může mít různé profily a délky. Pro všechny textilie je vlákn základní stavební jednotkou [15], [16].

1.2.1 Geometrické vlastnosti vláken

U textilních vláken se stanovují různé charakteristiky, jako je např. jejich délka, jemnost, průměr, měrný povrch, štíhlost, zobloučkování, cirkularita, ovalita nebo tvarový faktor [16].

1.2.1.1 Délka vláken

V textilu se používají vlákna nekonečná (velmi dlouhá), spřadatelná (délka je větší než 10 mm) a nespřadatelná (délka je kratší než 10 mm). Vlákna dlouhá jen několik centimetrů či decimetrů se nazývají staplová [16].

Délku vláken l_v [mm] lze definovat jako vzdálenost konců napřimeného vlákna bez obloučků a napětí [17].

Délka syntetických střížových vláken delších než 10 mm se určuje podle ČSN 80 0206 metodou měření délky jednotlivých vláken. Metoda spočívá v stanovení přiměřené délky syntetických vláken měřením jednotlivých vláken ve vyrovnaném stavu. Z vlákenné stříže se odebere 10 svazků vláken, každý asi s hmotností asi 0,2 g pro vlákna bavlněného typu. Každý svazek se rozdělí na dvě stejnoměrné části, z kterých se jedna odloží. Dělení se opakuje do té doby, než bude v každém vzorku asi 50 vláken. Při měření délky vlákna pomocí skleněné destičky nebo destičky z plastu se vlákna rovnoměrně natírou malým množstvím oleje. Jednotlivá vlákna se z připraveného vzorku vytahují pinzetou, ukládají na skleněnou desku a vyrovnávají prsty až do úplného odstranění obloučků, tak aby vlákn nebylo napnuté. Délka vlákna se pak měří

pravítkem v mm a výsledek se zaokrouhlí na celé číslo. Průměrná délka množství vláken l_z [mm] se vypočítá dle vztahu:

$$l_z = \frac{\sum_{j=1}^b (l_j z_j)}{\sum_{j=1}^b z_j} = \frac{\sum_{j=1}^b (l_j f_j)}{\sum_{j=1}^b f_j}, \quad (1)$$

kde l_j [mm] je průměrná hodnota j -té třídy, z_j [-] je množství vláken j -té třídy, f_j [-] je relativní množství počtu vláken, b [-] je číslo třídy s nejdelšími vlákny. Odchylka A_j [%] přiměřené délky vláken l_z [mm] (přiměřená vzdálenost mezi dvěma konci vyrovnaného vlákna) od nominální délky l_N [mm] (délka vlákna, udávaná v objednávce nebo nákladním listě) s přesností na jedno desetinné místo se vypočítá podle vztahu (2), jak uvádí [18]:

$$A_j = \frac{l_z - l_N}{l_N} 100. \quad (2)$$

1.2.1.2 Jemnost vláken

Jemnost t_v [tex] se většinou neměří přímo (průřez je nepravidelný), proto se může vyjádřit podílem hmotnosti vlákna m_v [g] o určité délce l_v [km] nebo součinem měrné hmotnosti vlákna ρ [kg/m³] a plochy příčného řezu vlákna s_v [mm²]

$$t_v = \frac{m_v}{l_v} = \rho s_v = \rho \frac{\pi d_v^2}{4}, \quad (3)$$

kde d_v [mm] je průměr vlákna [16].

1.2.1.3 Průměr vláken

Průměr válcového vlákna d_v [mm] lze definovat prostřednictvím plochy příčného řezu vlákna s_v [mm²]. U vláken, která nemají kruhový průřez, je průměr nahrazen ekvivalentním průměrem d_e [mm]. Tento průměr vyjadřuje průměr kruhu, jehož plocha je stejná jako plocha příčného řezu vlákna [16], [19] viz vztah (4):

$$d_e = \sqrt{\frac{4s_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4t_v}{\pi\rho}}. \quad (4)$$

1.2.1.4 Cirkularita

Cirkularitu c [-] lze definovat jako podíl plochy s_v [mm²] příčného řezu vlákna, které má obvod p [mm], ku ploše ekvivalentního kruhu s_e [mm²] o stejném obvodu, jak uvádí [21] viz vztah (5):

$$c = \frac{s_v}{s_e} = \frac{4\pi s_v}{p^2}. \quad (5)$$

1.2.1.5 Ovalita

Ovalita o [-] je podíl obvodu reálného průřezu vlákna p [mm] o ploše s_v [mm²] ku obvodu ekvivalentního kruhu p_e [mm] o stejné ploše. V následujícím vztahu (6) je vidět souvislost s cirkularitou:

$$o = \frac{p}{p_e} = \frac{p}{\pi d_e} = \frac{p}{2\sqrt{\pi s_v}} = \frac{1}{\sqrt{c}}, \quad (6)$$

kde d_e [mm] je ekvivalentní průměr vlákna. Pokud je průřez vlákna kruhový, platí $p/(\pi d_e) = 1$. Pro všechny ostatní případy platí $p/(\pi d_e) > 1$ [21].

1.2.1.6 Tvarový faktor

Pro vyjádření tvaru vláken dle Malinowské se využívá tvarový faktor q [-], který souvisí s předcházejícími veličinami takto [21], [22] viz vztah (7):

$$q = \left(\frac{p}{\pi d_e} \right) - 1 = o - 1 = \frac{(1 - \sqrt{c})}{\sqrt{c}}. \quad (7)$$

1.2.1.7 Měrný povrch

Měrný (makro) povrch vláken A [m²/kg] vyjadřuje plochu povrchu vláken v hmotnostní jednotce materiálu:

$$A = \frac{pl}{m} = 2\sqrt{\pi} \frac{1+q}{\sqrt{\rho t_v}}, \quad (8)$$

kde p [mm] je obvod vlákna, m [g] je hmotnost vlákna, l [mm] je délka vlákna, q [-] je tvarový faktor vlákna, ρ [kg/m³] je měrná hmotnost vlákna, d_e [mm] je ekvivalentní průměr vlákna a t_v [tex] je jemnost vlákna [16], [21].

1.2.1.8 Štíhlost

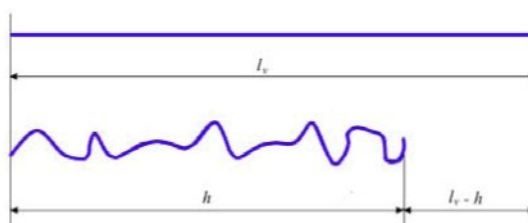
V textilií se často společně uplatňují dvě veličiny, délka vlákna l_v [mm] a jeho ekvivalentní průměr d_e [mm], proto se zavádí štíhlost vlákna A [-] vztahem (9) [16]:

$$\Lambda = \frac{l_v}{d_e}. \quad (9)$$

1.2.1.9 Zobloučkování (navlnění)

Obr. 2 znázorňuje vlákno nebo úsek vlákna o délce l_v [mm], jehož koncové body leží ve vzdálenosti h [mm]. Míru zobloučkování λ [-] lze popsat jako:

$$\lambda = \frac{l_v - h}{h} = \frac{l_v}{h} - 1. \quad (10)$$



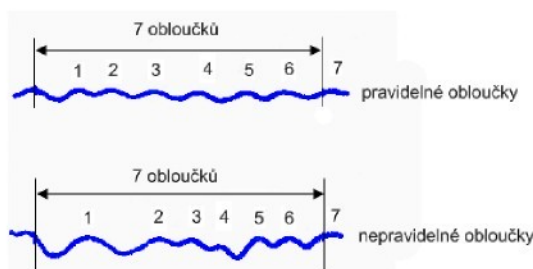
Obr. 2 – Navlněné vlákno

Popisuje-li veličina celé vlákno, nazývá se zobloučkování. Pokud tato veličina popisuje jen část (úsek) vlákna, nazývá se navlnění [16], [22].

Hustota obloučků je dle ČSN 80 0202 definována počtem obloučků, připadajících na délkovou jednotku vlákna zatíženého předepsaným předpětím. Vyjadřuje se počtem obloučků na 10 mm. Obloučkem je zde myšlena část vlákna vymezená jednou úplnou vlnou, přičemž vrcholy nemusí ležet vždy v jedné rovině viz Obr. 3. Hustotu obloučků H na 10 mm lze tedy vypočítat dle vztahu (11):

$$H = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n c_j, \quad (11)$$

kde n [-] je počet měřených vláken a c_j [-] je počet vrcholů na délce 20 mm. Na délce 20 mm se odečte počet vrcholů na jedné nebo druhé straně. Doporučuje se provést minimálně 50 měření [23].



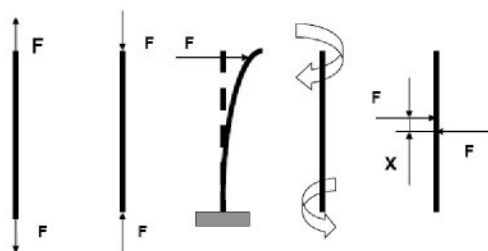
Obr. 3 – Hustota obloučků [23]

Počet obloučků chemických střížových vláken je možné stanovit metodou, která je používána např. v laboratoři firmy Spolsin LM.1214/1. V metodě se nejdříve u deklarované délkové hmotnosti stříže stanoví předpětí vláken při ukládání vláken na měřicí desku tak, že se délková hmotnost v [dtex] násobí koeficientem 0,005. Poté se z plošné hmotnosti používané lepicí pásky vypočte plocha pásky v [g], odpovídající vypočtené hodnotě předpětí. Páska se nastříhá na obdelníčky vypočtené velikosti. Obdelníček nastříhané pásky se nalepí na jeden konec zkoušeného vlákna. Druhý konec vlákna se uchopí pomocí pinzety a opatrně položí na zešikmenou desku a volným pohybem přitáhne k měřítku. Nakonec se spočítá počet obloučků na délce 2 cm. Výsledkem je pak aritmetický průměr z 50ti měření, který se přepočítává na délku 1 m [24].

1.2.2 Mechanické vlastnosti vláken

Mechanické vlastnosti závisí na chemické a fyzikální struktuře vlákna, dále na teplotě, vlhkosti, způsobu a rychlosti namáhání. U vláken se hodnotí nejen mechanické vlastnosti, ale i únava, která vzniká při opakovaném namáhání. Převážně se sledují vztahy mezi působící silou a deformací vlákna.

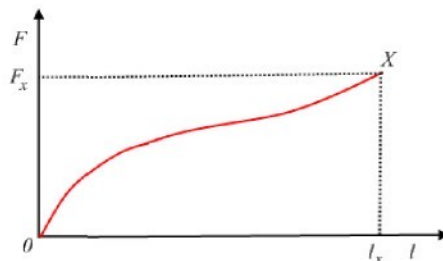
Tyto vlastnosti vláken se projevují jako odezva na mechanické namáhání vláken působením vnějších sil. Podle působení vnějších sil může namáhání působit na tlak, tah, ohyb, krut a stříh viz Obr. 4. Ve vlákne působením mechanického namáhání dochází k deformaci (ke změně tvaru), která závisí na velikosti zatížení, rychlosti namáhání, době trvání a upínací délce [6], [17].



Obr. 4 – Působení vnějších sil na vlákno[25]

Tahová pracovní křivka vzniká při zkoušce tahem. Vláknem upnuté do horní a spodní čelisti trhačického přístroje se při konstantní rychlosti posuvu příčnicku napíná a zaznamenává se napětí a poměrné prodloužení. Bude-li se vlákno zatěžovat postupně, bude docházet k jeho deformaci (protažení). Obr. 5 ukazuje, jak s rostoucí silou F roste

jeho protažení l až do okamžiku přetržení X . Bod X ukazuje maximální zatížení a maximální protažení, které vlákno sneslo. Tyto maximální hodnoty (souřadnice F_x a l_x) se označují jako pevnost a tažnost [6].



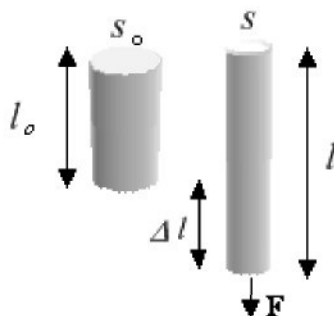
Obr. 5 – Tahová pracovní křivka [6]

Pevnost vlákna vyjadřuje maximální napětí, to znamená sílu, která při daném způsobu namáhání vlákno přetrhne. Poměrná pevnost vlákna, neboli napětí při přetrhu vlákna R [N/tex], se v textilní praxi vyjadřuje jako síla F [N] vztažená na jednotku jemnosti t_v [tex]. Platí vztah:

$$R = \frac{F}{t_v} = \frac{F}{s_0 \rho} = \frac{\sigma}{\rho} = \frac{F/s_0}{\rho}, \quad (12)$$

kde ρ [kg/m³] je měrná hmotnost vlákna a s_0 [mm²] je plocha příčného řezu vlákna. Ve fyzice se napětí σ [Pa] definuje jako síla F [N] vztažená jednotku plochy s_0 [mm²].

Napřímené vlákno o ploše příčného řezu s_0 [mm²] a délce l_0 [mm] se při působení síly F [N] prodlouží na délku l [mm] a plocha průřezu se zmenší na s [mm²] viz Obr. 6 [26].



Obr. 6 – Geometrie prodloužení vlákna [26]

Protažení do přetrhu (absolutní deformace) Δl [mm] je vyjádřeno vztahem (13):

$$\Delta l = l - l_0, \quad (13)$$

kde l [mm] je délka po deformaci a l_0 [mm] je upínací (počáteční) délka [17], [27].

Tažnost ε [mm] vyjadřuje přírůstek délky Δl [mm] z původní délky vlákna l_0 [mm] při přetržení l [mm] nebo také celkové poměrné prodloužení při přetržení viz vztah (14):

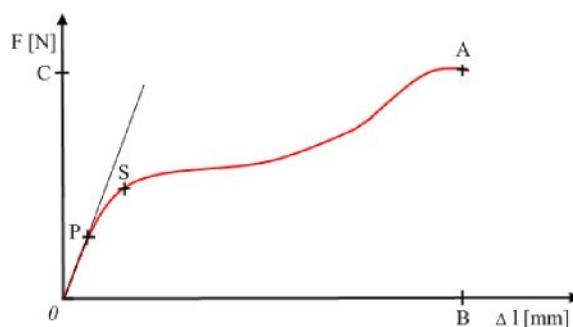
$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}. \quad (14)$$

Při studiu mechanických vlastností vláken se ukázalo, že pevnost a tažnost při přetrhu nepopisují dostatečně změny, ke kterým v průběhu tahové zkoušky vlákna dochází. Proto je také důležité sledovat průběh a výsledný tvar tahové pracovní křivky. Tahová křivka má odlišný průběh s ohledem na typ materiálu, teplot a rychlost protažení. Čím je křivka strmější, tím větší odpor má vlákno proti deformaci.

Pro deformaci ideálně pružných těles platí Hookův zákon:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (15)$$

kde σ [Pa] je napětí, E [Pa] je počáteční (Youngův) modul pružnosti a ε [%] je poměrné prodloužení. Počáteční modul pružnosti E [Pa] je definován strmostí pracovní křivky při nulové deformaci (první derivace funkce tahové pracovní křivky), je to směrnice tečny ke křivce v počátku $E = d\sigma/d\varepsilon$. Grafické znázornění průběhu závislosti síly na deformaci viz Obr. 7.



Obr. 7 – Deformační křivka [17]

Charakteristické části křivky:

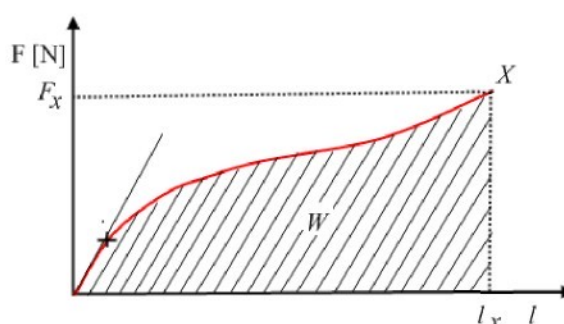
- 0:** počátek,
- 0 – P:** oblast pružných (elastických) deformací, které se po uvolnění napětí vrátí do původní polohy, do tohoto bodu platí ještě Hookův zákon,
- P:** mez pružnosti, nad tímto bodem se začínají projevovat nevratné (plastické) deformace,
- S:** počátek (mez) kluzu,
- A:** maximální síla (mez pevnosti),
- B:** maximální protažení při přetrhu (bod přetrhu).

Čím je menší modul pružnosti, tím je vyšší tažnost. Při vysokém modulu pružnosti je naopak nízká tažnost [4],[17] a [28].

Plocha ohraničená osou úseček a pracovní křivkou viz Obr. 8 je deformační práce W [J], potřebná pro přetržení vlákna. Vyjadřuje se integrálem pod pracovní křivkou viz vztah (16):

$$\int_0^{l_x} F dl = W, \quad (16)$$

kde F [N] je síla, F_x [N] je síla do bodu přetrhu X , dl [mm] je přírůstek délky a l_x [mm] je délka prodloužení do bodu X .



Obr. 8 – Pracovní diagram [6]

Deformační práci W [J] lze přepočítat na měrnou deformační práci w [J/tex] dle vztahu (17):

$$w = \frac{W}{m_v} = \frac{W}{t_v}, \quad (17)$$

kde m_v [g] je hmotnost vlákna a t_v [tex] je jemnost vlákna [6], [28].

V textilní praxi patří mezi důležité charakteristiky deformačního chování vláken také Poissonův poměr ν [-], který je definován vztahem (18):

$$\nu = -\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon}; \varepsilon_T = -\frac{d - d_0}{d_0} = \frac{s - s_0}{s_0}, \quad (18)$$

kde je ε_T [mm] je příčné zkrácení, ε [mm] je podélné prodloužení útvaru, d [mm] je průměr vlákna po deformaci, d_0 [mm] je průměr vlákna před deformací, s [mm²] je průřez vlákna po deformaci a s_0 [mm²] je průřez vlákna před deformací. Změna plochy příčného s řezu oproti původní ploše řezu s_0 je pak vyjádřena vztahem (19):

$$\frac{s}{s_0} = (1 - \nu\varepsilon)^2 \quad (19)$$

a změna objemu původního V_0 [m³] a po deformaci V [m³] určeného pomocí Poissonova poměru odpovídá závislosti (20):

$$\frac{V}{V_0} = (1 - \nu\varepsilon)^2 (1 + \varepsilon). \quad (20)$$

V případě, že se objem při deformaci nemění (např. kaučuk a kapaliny) platí vztah (21):

$$\frac{V}{V_0} = 1 \Rightarrow \nu = 0,5. \quad (21)$$

V případě, že objem při deformaci roste (materiál se více natáhne, než zúží) platí dle práce [28] vztah (22):

$$\frac{V}{V_0} > 1 \Rightarrow \nu < 0,5 \text{ po většinu textilních vláken } 0,2 \leq \nu \leq 0,45. \quad (22)$$

V případě, že objem zůstane stejný a změní se jen plocha příčného řezu, platí vztah (23), který byl odvozen v práci [26]:

$$\frac{s}{s_0} = \frac{l_0}{l} = \frac{1}{(1 + \varepsilon)} \approx (1 - 0,5\varepsilon)^2. \quad (23)$$

Pro napětí (po deformaci) tzv. „True stress“ σ_t platí vztah (24):

$$\sigma_t = \frac{F}{s} = \frac{\sigma}{(1 - \nu\varepsilon)^2}, \quad (24)$$

kde F [N] je síla, s [mm²] je plocha vlákna po deformaci, σ [Pa] je napětí vlákna před deformací, ν [-] je Poissonův poměr a ε [mm] je podélné prodloužení. V praxi je pro deformace s konstantním objemem a napětím tzv. „True stress“ σ_t [Pa] odvozen vztah (25) dle [26], [29]:

$$\sigma_t = \sigma(1 + \varepsilon); \sigma_t \neq \sigma. \quad (25)$$

1.2.3 Vliv podmínek testování na průběh a výsledky mechanických vlastností

Průběh testování mechanických vlastností může ovlivňovat řada různých podmínek jako např. klimatické podmínky, upínací délka, rychlost deformace nebo předpětí, které se poté projevují na výsledných hodnotách.

1.2.3.1 Klimatické podmínky

Výsledky měření mechanických vlastností jsou ovlivňovány klimatickými podmínkami. Pevnost vláken je ovlivňována vlhkostí řádově o jednotky až desítky procent (příklady

viz Tab. 2). Klimatické podmínky pro zkoušení textilií jsou stanoveny ČSN EN 20139 (80 0056) na teplotu 20 ± 2 °C a vlhkost vzduchu 65 ± 2 %. Jak je patrné (viz Tab. 2) u většiny vláken pevnost za mokra klesá a tažnost roste (výrazným příkladem je viskóza) [17].

Tab. 2 – Orientační hodnoty pevnosti v tahu a tažnosti a jejich změny za mokra [17]

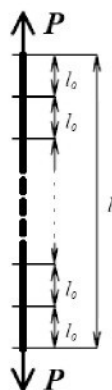
Vlákno	Poměrná pevnost [cN/dtex]	Tažnost [%]	Změna pevnosti za mokra [%]	Tažnost za mokra [%]
Bavlna	2,7 – 4,3	3 – 10	100 – 110	3,6 – 12
Vlna	1 – 2	20 – 40	80 – 90	25 – 50
Viskóza	3	15 – 30	44 – 72	20 – 40
Acetát	1,3	20 – 45	60 – 70	30 – 50
Polyamidy	3,7 – 5,4	25 – 40	85 – 90	20 – 50
Polyestery	4,1 – 4,5	19 – 23	100	19 – 23
Polypropylen	2,7 – 6,3	25 – 75	100	25 – 75
Polyakrylonitril	2,0 – 2,9	20 – 28	80 – 90	26 – 34
Bavlna	2,7 – 4,3	3 – 10	100 – 110	3,6 – 12

1.2.3.2 Upínací délka

K přetrhu (destrukci) jakéhokoliv materiálu dochází vždy v nejslabším místě. Trháme-li malý úsek, existuje malá pravděpodobnost, že se zde vyskytne slabé místo oproti trhání dlouhého úseku. Tomuto jevu se také říká tvarový efekt.

Výskyt a rozmístění slabých a málo pevných míst je náhodné. Obr. 9 znázorňuje vláknenný úsek (přízi) o délce l , který je složený z n kratších úseků délky l_0 . Je-li každý úsek l_0 zatížen stále stejným napětím P a platí:

$$l = nl_0; n = \frac{l}{l_0}. \quad (26)$$



Obr. 9 – Náhodné rozložení silných a slabých míst [16]

Peirce poprvé odvodil vztahy, které charakterizují rozložení pevnosti úseků délky. Za předpokladu platnosti dvouparametrického Weibullova rozložení platí vztah (27):

$$\overline{P}_P = P_n \left(\frac{I_n}{I_{(n+1)}} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (27)$$

kde $\overline{P}_P$ je střední hodnota pevnosti, P_n je pevnost n -tého úseku upínací délky I , I_n je délka n -tého úseku upínací délky I a m je parametr tvaru Weibullova rozložení. Tento vztah charakterizuje model závislosti na upínací délce. Neckář [22] tento model upravil do formy uvedené ve vztahu (28) a (29):

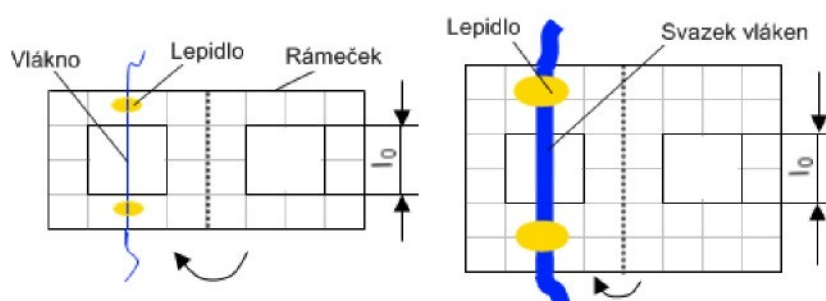
$$\overline{P}_N = J + 4,2 \frac{I}{I_n^{1/5}}, \quad (28)$$

$$\sigma_N = \frac{I}{I_n^{1/5}}; I = \sigma_n (I_{(n+1)})^{1/5}; J = P_n - (4,2\sigma_n), \quad (29)$$

kde $\overline{P}_N$ je střední hodnota pevnosti podle Neckáře na úseku délky I , σ_N je směrodatná odchylka podle Neckáře na úseku délky I , I a J jsou konstanty vztažené ke zvolené délce I a σ_n je směrodatná odchylka n -tého úseku upínací délky I .

Pro vyloučení tvarového efektu je u jednotlivých druhů textilií normován tvar vzorků a upínací délka l_0 . To znamená, že pevnost materiálu bude při malé upínací délce větší než pevnost zjišťována při větší upínací délce.

U vláken se upínací délka běžně používá v rozmezí 10 – 50 mm. Pro snadnější upínání vláken nebo vlákenných svazků do čelisti trhacího stroje se někdy používá způsob zalepení vlákna do papírového rámečku (viz Obr. 10). Vláknem nebo vlákenným svazkem se s rámečkem upne do čelistí trhacího stroje. Strany rámečku se před zkouškou přestřihnou. U přízí se běžně používá upínací délka 500 mm [17], [22] a [30].



Obr. 10 – Rámeček pro upnutí vláken a vlákenného svazku

1.2.3.3 Rychlost zatěžování (deformace)

Rychlost zatěžování má zásadní vliv na výsledky měření pevnosti v tahu a tažnosti. Čím rychleji budeme textilií zatěžovat, tím méně času budou mít vnitřní síly na přeskupení v materiálu. S rostoucí rychlostí zatěžování roste pevnost a klesá tažnost.

Podle vztahu (30) je rychlost deformace v_ε [mm/min] vyjádřena přírůstkem deformace $d\varepsilon$ [mm] za jednotku času dt [min]:

$$v_\varepsilon = \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (30)$$

Rychlost posuvu příčnicku $v_{př.}$ [mm/min] je vyjádřena přírůstkem prodloužení $d\Delta l$ [mm] za jednotku času dt [min] viz vztah (31):

$$v_{př.} = \frac{d\Delta l}{dt}. \quad (31)$$

Dále můžeme rychlost deformace v_ε [mm/min] vyjádřit dosazením vztahu (14) do vztahu (30), kde platí:

$$v_\varepsilon = \frac{d\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)}{dt} = \frac{d\Delta l}{l_0 dt} = \frac{v_{př.}}{l_0}, \quad (32)$$

kde l_0 [mm] je původní délka vlákna před deformací. Ze vztahu (32) je vidět, že rychlost deformace závisí na rychlosti posuvu příčnicku a na upínací délce [17].

V pracích [57] a [58] se vychází z modelu, který vyjadřuje závislost relativní pevnosti na rychlosti deformace. Pro sestavení modelu podle práce [59] plyne:

Pro vztah mezi aplikovaným statickým nebo dynamickým napětím a prodloužením platí Hookeův zákon:

$$\sigma_f^s = E_f^s \varepsilon_f^s; \quad \sigma_f^d = E_f^d \varepsilon_f^d, \quad (33)$$

kde E_f je modul pružnosti, ε_f je napětí vlákna, σ_f je prodloužení vlákna. Index f značí vlákno, s statické zatížení a d dynamické zatížení. Následující formulace (34) popisuje dynamický modul pružnosti a prodlužování vlákna při dynamickém zatížení:

$$\frac{E_f^d}{E_f^0} = 1 + f\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right); \quad \frac{\varepsilon_f^d}{\varepsilon_f^0} = 1 + \lambda\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right), \quad (34)$$

kde v_ε je vstupní rychlost deformace, E_f^0 je modul pružnosti při působení rychlosti deformace $v_{\varepsilon 0}$ a ε_f^0 je prodloužení vlákna při působení rychlosti deformace $v_{\varepsilon 0}$. Funkce $f(v_\varepsilon/v_{\varepsilon 0})$ a $\lambda(v_\varepsilon/v_{\varepsilon 0})$ definují závislost rychlosti deformace. Ze vztahů (33), (34) a

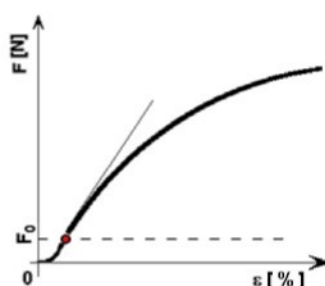
$\sigma_f^0 = E_f^0 \varepsilon_f^0$ lze pak odvodit vztah mezi funkcemi rychlosti deformace v závislosti na pevnosti vlákna [31]:

$$\sigma_f^d = \left[1 + f\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right) \right] \left[1 + \lambda\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right) \right] \sigma_f^0. \quad (35)$$

S rostoucí zkoušenou rychlostí deformace modul pružnosti klesá a naopak s klesající rychlostí modul roste.

1.2.3.4 Předpětí

U tahové pracovní křivky se projevuje zakřivením způsobeným vyrovnáváním vnitřních sil uvnitř zkoušené textilie (např. dojde k vyrovnávání navlnění zobloučkování) viz Obr. 11. Pro přesné stanovení deformace zkoušené textilie, která je závislá na změně délky a na přesnějším odečítání počátečního tangentového modulu, vkládáme před měřením pevnosti na textilií předběžnou sílu. Tuto sílu nazýváme předpětím, které je stanoveno normou ČSN ISO 5079 (80 0200). Předpětí se vkládá na textilií např. zavěšením závažíčka. U moderních přístrojů pro měření pevnosti a tažnosti je předpětí definováno číselně. Přístroj zkoušenou textilií nejdříve zatíží na určitou hodnotu a teprve poté začne s měřením pevnosti a tažnosti [17].



Obr. 11 – Předpětí [17]

1.3 Vlákenný svazek

1.3.1 Ideální svazek

Textilní vlákenné útvary se často vyskytují ve formě svazků, které jsou tvořeny převážně „podélně“ orientovanými vlákny. Ideální svazek vláken je tvořen velkým počtem rovných, rovnoběžných vláken, která se při tahovém namáhání svazku F_S [N] vzájemně neovlivňují [16].

1.3.2 Geometrické vlastnosti vlákenného svazku

1.3.2.1 Jemnost svazku

Jemnost vlákenného svazku T_{sv} [tex] lze vyjádřit podílem hmotnosti vlákenného svazku m_{sv} [g] a délky vlákna l_v [km] nebo součinem měrné hmotnosti vlákna ρ [kg/m³] a plochy příčného řezu vlákenného svazku S_{sv} [mm²] [16] viz vztah (36):

$$T_{sv} = \frac{m_{sv}}{l_v} = \rho S_{sv}. \quad (36)$$

1.3.2.2 Počet vláken ve vlákenném svazku

Počet vláken n [-] o stejné jemnosti ve vlákenném svazku lze vyjádřit jako poměr jemností vlákenného svazku T_{sv} [tex] ku jemnosti vlákna t_v [tex] [15] viz vztah (37):

$$n = \frac{T_{sv}}{t_v}. \quad (37)$$

Počet vláken n [-] ve vlákenném svazku o různé jemnosti vláken t_{v1} a t_{v2} [tex] je možné vypočítat pomocí hmotnostního podílu g_1 a g_2 [-] dle vztahu (38):

$$n_1 = g_1 \frac{T_{sv1}}{t_{v1}}; n_2 = g_2 \frac{T_{sv2}}{t_{v2}}, \quad (38)$$

$$n = n_1 + n_2, \quad (39)$$

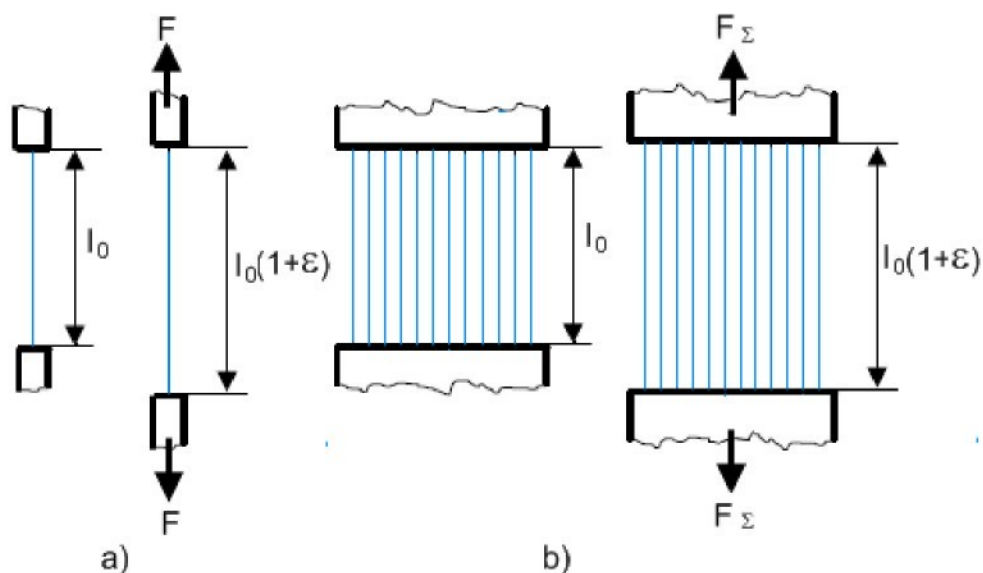
$$g_1 = \frac{m_{sv1}}{m_{sv}}; g_2 = \frac{m_{sv2}}{m_{sv}}, \quad (40)$$

$$g_1 + g_2 = 1, \quad (41)$$

kde T_{sv1} a T_{sv2} [tex] je jemnost ve svazku 1. a 2. komponenty, n_1 a n_2 [-] je počet vláken ve vlákenném svazku 1. a 2. komponenty, m_{sv} [g] je hmotnost vlákenného svazku, m_{sv1} a m_{sv2} [g] je hmotnost ve vlákenném svazku 1. a 2. komponenty [16].

1.3.3 Mechanické vlastnosti vlákenného svazku

Při tahovém namáhání svazku lze pozorovat, že mechanické vlastnosti svazku nejsou shodné s „průměrnými“ vlastnostmi vláken, které tvoří vlákenný svazek. Obr. 12 znázorňuje jedno vlákno a ideální svazek vláken v čelistech trhacího stroje o upínací délce l_0 [mm] a to ve výchozím a napjatém stavu. Kde F [N] je tahové namáhání vlákna, F_{Σ} [N] je tahové namáhání vlákenného svazku a ε [mm] je poměrné prodloužení. Vztahy mezi mechanickými vlastnostmi vlákna a svazku jsou poměrně složitější [16].



Obr. 12 převzato z [16]

a) Jedno vlákno ve výchozím a napjatém stavu

b) Ideální svazek vláken ve výchozím a napjatém stavu

Pro zjednodušení je uvažován vlákenný svazek geometricky stejných paralelních vláken. Kdyby vlákna v tomto vlákenném svazku byla naprosto totožná se shodnou chemickou strukturou, geometrickými i mechanickými vlastnostmi, praskla by při zatížení všechna najednou. Pak by bylo napětí (poměrná pevnost) vlákenného svazku $R_\Sigma [\text{N/tex}]$ při přetrhu stejné jako napětí (poměrná pevnost) jednoho libovolného vlákna $R [\text{N/tex}]$ viz vztah (42):

$$R_\Sigma = \frac{F_\Sigma}{T_{sv}} = \frac{nF}{nt_v} = \frac{F}{t_v} = R, \quad (42)$$

kde $F_\Sigma [\text{N}]$ je tahová síla vlákenného svazku, $F [\text{N}]$ je tahová síla jednoho vlákna, $n [-]$ je počet vláken, $T_{sv} [\text{tex}]$ je jemnost vlákenného svazku a $t_v [\text{tex}]$ je jemnost vlákna [27].

Ve skutečnosti k praskání dochází postupně od nejslabších vláken, kde se pak přenášené napětí rovnoměrně rozdělí mezi zbylá vlákna. Pevnost vlákna $P [\text{N}]$ nezávisí jenom na počtu poškozených míst, ale také na nejnebezpečnějším poškození, které se vyskytuje v namáhaném vzorku (tzv. principu nejslabšího článku). Nebezpečným poškozením vlákna může být např. trhлина nebo zúžení vlákna. U různých vzorků téhož materiálu, vyrobených stejnou technologií, se poškození vyskytují s rozdílným stupněm nebezpečnosti. Čím je větší velikost poškození (defektu), tím menší je pravděpodobnost jeho výskytu. Též platí, že čím je větší objem vzorku, tím vyšší je pravděpodobnost

výskytu nebezpečného defektu. Pevnost vlákenného svazku P_{Σ} [N] je vyjádřena vztahem (43):

$$P_{\Sigma} = nP, \quad (43)$$

kde n [-] je počet vláken a P [N] je pevnost vlákna.

Tažnost vlákenného svazku ε_{Σ} [%] je definována jako poměrné prodloužení Δl [mm] v okamžiku, kdy je dosažena hodnota pevnosti svazku P_{Σ} [N] viz kapitola 1.2.2 [16], [31] a [27].

Další mechanické vlastnosti jsou popsány v kapitole 1.2.2.

Poměrnou pevnost vlákenného svazku δ_{sv} [N/tex] lze zjednodušeně vyjádřit jako součin pevnosti vlákna δ_v [N/tex] a využití pevnosti vláken ve svazku ϕ_{vs} [-] viz vztah (44):

$$\delta_{sv} = \delta_v \phi_{vs}. \quad (44)$$

Pro využití pevnosti vláken ve svazku ϕ_{vs} [-] jsou využívány pravděpodobnostní modely, kde jsou pevnost a tažnost vlákenného svazku náhodné veličiny, které jsou popsány např. normálním, lognormálním, Weibullovým aj. rozložením [32].

1.3.3.1 Využití pevnosti a tažnosti svazků podle B. Neckáře

V práci [16] Neckář odvodil, že využití pevnosti η_p a tažnosti η_a vlákenného svazku závisí pouze na variačním koeficientu tažnosti v_a za předpokladů:

- Tahové pracovní křivky úseků vláken jsou hladké monotónně rostoucí, jsou podobné a nahrazuje je vzorová tahová křivka, která je hladká monotónně rostoucí procházející počátkem a bodem střední pevnosti a tažnosti.
- Platí předpoklad napětíové podobnosti a předpoklad souměrných pevností – body přetrhů jsou rovnoměrně rozptýleny nad a pod vzorovou tahovou pracovní křivkou.
- Platí předpoklad normálního rozložení pevností vláken.

Pro využití pevnosti η_p a tažnosti η_a vláken ve svazku jsou odvozeny vztahy:

$$\eta_p = u_a v_a + 1[1 - F(u_a)]; \quad \eta_a = u_a v_a + 1, \quad (45)$$

kde v_a je variační koeficient tažnosti vláken a u_a je parametr, který lze určit ze vztahu (46):

$$\frac{v_a}{u_a v_a + 1} \frac{1 - F(u_a)}{f(u_a)} = 1, \quad (46)$$

kde $f(u_a)$ je hustota pravděpodobnosti a $F(u_a)$ je distribuční funkce normálního rozdělení.

Za užití zjednodušujících předpokladů a teorie pravděpodobnosti je využití pevnosti a tažnosti řešeno následujícím způsobem. Pro využití pevnosti η_p je určený vztah (47), který charakterizuje míru využití střední poměrné pevnosti vláken $\bar{P}$ v poměrné pevnosti vlákenného svazku P^* :

$$\eta_p = \frac{P^*}{\bar{P}} = \frac{P_\Sigma}{nP}, \quad (47)$$

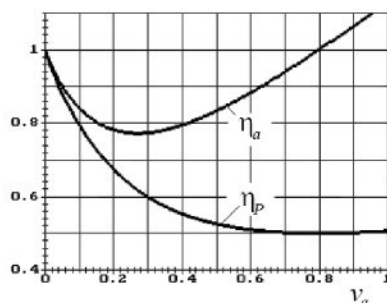
kde P_Σ je pevnost vlákenného svazku a n je počet vláken ve vlákenném svazku.

Využití tažnosti η_a , vyjadřuje využití střední tažnosti vláken $\bar{a}$ v tažnosti vlákenného svazku a^* :

$$\eta_a = \frac{a^*}{\bar{a}}. \quad (48)$$

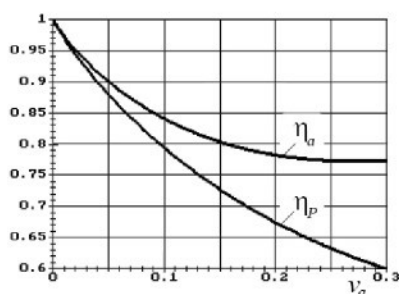
Obojí využití je závislé jen na variačním koeficientu tažnosti vláken v_a .

Obr. 13 znázorňuje průběh využití pevnosti a tažnosti v extrémně velkém rozsahu variačního koeficientu tažnosti vláken. Z tohoto grafu je vidět, že využití tažnosti η_a dosahuje hodnoty kolem $v_a = 0,28$ svého minima a poté opět stoupá.



Obr. 13 – Využití pevnosti a tažnosti velkého rozsahu variačního koeficientu tažnosti vláken [16]

Obr. 14 znázorňuje stejnou závislost jako Obr. 13, ale v obvyklé oblasti variačního koeficientu tažnosti ($v_a \in (0;0,3)$, tj. od 0 do 30%). Hodnoty využití pevnosti η_p zde ukazují, že reálný „úbytek“ pevnosti v důsledku variace tažnosti vláken může být značně velký [16], [32].



Obr. 14 – Využití pevnosti a tažnosti v obvyklém rozsahu variačního koeficientu tažnosti vláken [16]

1.3.3.2 Pevnost svazků podle N. Pana

V pracích Pana [33] a [34] je rozložení pevnosti vláken popsáno dvouparametrickým Weibullovým rozložením $F(\sigma)$. Pro distribuční funkci platí:

$$F(\sigma) = 1 - \exp(-l \alpha_y \beta_y \sigma_v^{\beta_y}), \quad (49)$$

kde l je upínací délka, σ_v je pevnost vláken, α_y je parametr měřítka a β_y je parametr tvaru rozložení. Pro střední hodnotu pevnosti vláken $\overline{\sigma_v}$ a směrodatnou odchylku pevnosti vláken s_{σ_v} jsou definovány vztahy:

$$\overline{\sigma_v} = (l_y \alpha_y)^{\frac{1}{\beta_y}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right), \quad (50)$$

$$s_{\sigma_v} = \overline{\sigma_v} \left[\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta_y}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right)} - 1 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (51)$$

kde $\overline{\delta_v}$ je střední hodnota relativní chyby predikce pevnosti vláken a $\Gamma()$ je gama funkce.

Pro velké vlákenné svazky (počet vláken ve svazku $n > 100$) odvodil Daniels, že pevnost svazku σ_s může být aproximována normálním rozdělením viz vztah (52):

$$H(\sigma_s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi s_{\sigma_s}^2}} \exp\left[-\frac{(\sigma_s - \overline{\sigma_s})^2}{2s_{\sigma_s}^2}\right], \quad (52)$$

kde $H(\sigma_s)$ je distribuční funkce normálního rozdělení pevnosti vláken ve svazku, s_{σ_s} je směrodatná odchylka pevnosti svazku vláken, která je vyjádřena vztahem (54), σ_s je relativní pevnost svazku vláken a $\overline{\sigma_s}$ je střední hodnota pevnosti svazku vláken, která je rovna:

$$\overline{\sigma_s} = (l_y \alpha_y \beta_y)^{-\frac{1}{\beta_y}} \exp\left(-\frac{1}{\beta_y}\right), \quad (53)$$

$$s_{\overline{\sigma_s}} = (l_y \alpha_y \beta_y)^{-\frac{2}{\beta_y}} \exp\left(-\frac{1}{\beta_y}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{\beta_y}\right)\right) n^{-1}. \quad (54)$$

V práci [55] je pro určení parametru β_y navržen integrační postup:

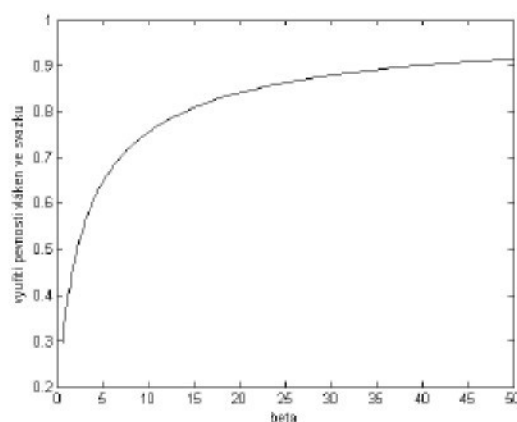
$$\overline{\delta_y} \left[\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta_y}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right)} - 1 \right] - s_{\overline{\delta_y}} = 0, \quad (55)$$

kde $\overline{\delta_y}$ je střední hodnota pevnosti vláken a $s_{\overline{\delta_y}}$ je směrodatná odchylka pevnosti vláken. Na základě známých hodnot střední pevnosti vláken $\overline{\delta_y}$ a směrodatné odchylky pevnosti vláken $s_{\overline{\delta_y}}$ lze určit parametry α_y a β_y Weibulova rozložení a vypočítat pevnost vláken ve svazku σ_s a směrodatnou odchylku pevnosti vlákenného svazku s_{σ_s} .

V práci [32] je pro využití pevnosti vláken ve svazku ϕ_{vs} rovnoběžných vláken odvozen aproximační vztah na základě dvouparametrického Weibulova rozdělení:

$$\phi_{vs} = \frac{\overline{\sigma_s}}{\overline{\sigma_v}} = (\beta_y)^{-\frac{1}{\beta_y}} \exp\left(-\frac{1}{\beta_y}\right) / \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right), \quad (56)$$

kde $\overline{\sigma_s}$ je střední hodnota pevnosti svazku vláken a $\overline{\sigma_v}$ je střední hodnota pevnosti vláken. Tento vztah ukazuje, že využití pevnosti vláken ve svazku závisí pouze na parametru β_y viz Obr. 15.



Obr. 15 – Využití pevnosti vláken ve svazku dle Weibulova rozdělení v závislosti na β_y [32]

Variační koeficient pevnosti v_{σ_v} lze vyjádřit jako podíl směrodatné odchylky s_{σ_s} (51) a střední hodnoty pevnosti vláken $\bar{\sigma}_v$ (50):

$$v_{\sigma_v} = \frac{s_{\sigma_s}}{\bar{\sigma}_v} = \left(\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta_y}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{2}{\beta_y}\right)} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (57)$$

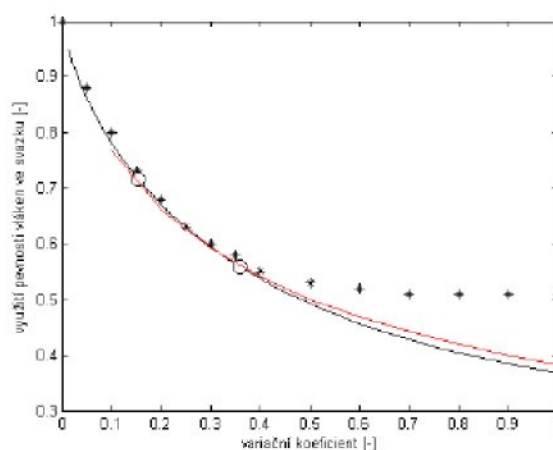
Variační koeficient v_{σ_v} je také funkcí pouze parametru tvaru

$$\frac{1}{v_{\sigma_v}} \approx 0,909\beta_y. \quad (58)$$

Po dosazení do vztahu (56) vyjde aproximační vztah:

$$\phi_{vs} = \left(\frac{1}{u}\right)^{-u} \exp(-u) / \Gamma(1+u) = u^u \exp(-u) / \Gamma(1+u), \quad (59)$$

kde $u = 0,909v_{\sigma_v}$. Z tohoto vztahu je vidět, že podle teorie Pana využití vláken ve svazku ϕ_{vs} závisí pouze na variačním koeficientu pevnosti vláken v_{σ_v} [32].



Obr. 16 – Využití pevnosti vláken ve svazku v závislosti na variačním koeficientu pevnosti vláken [32]:

- černá čára (Pan, variační koeficient pevnosti),
- červená čára – aproximace (lineární tahová křivka kde je variační koeficient pevnosti vláken roven variačnímu koeficientu tažnosti vláken),
- černé body (Neckář, variační koeficient tažnosti vláken),
- černé kroužky – bavlna 35% PES 15%

Z Obr. 16 je vidět, že z teorie Neckáře a Pana vyplývají relativně shodné výsledky. Podle teorie Neckáře využití pevnosti vláken ve svazku ϕ_{vs} (45) závisí pouze na variačním koeficientu tažnosti v_a a podle Pana využití pevnosti vláken ve svazku ϕ_{vs} (56) závisí zase pouze na variačním koeficientu pevnosti v_{σ_v} . Za předpokladu lineární tahové křivky variačních koeficientů, je variační koeficient pevnosti vláken roven variačnímu koeficientu tažnosti vláken $v_{\sigma_v} = v_a$. Jednotlivé hodnoty využití by měly být menší než 1.

U bavlněných vláken je tahová křivka variačních koeficientů přibližně lineární ($v_{\sigma_v} = v_a$) viz práce [31] a [32], u jiných materiálů jako např. u PP je výrazný rozdíl mezi variačním koeficientem tažnosti a pevnosti ($v_{\sigma_v} < v_a$). K predikci pevnosti PP vláken ve svazku ϕ_{vs} je nutno užít variační koeficient pevnosti v_{σ_v} , který je menší, než variační koeficient tažnosti $v_{\sigma_v} < v_a$. V opačném případě by bylo dosaženo nízkého využití ve svazku ϕ_{vs} , což by neodpovídalo reálným hodnotám.

1.4 Příze

Příze je délková textilie, která je složena ze spřadatelných vláken a zpevněna zákrutem nebo jiným pojením [35].

1.4.1 Geometrické vlastnosti přízí

1.4.1.1 Jemnost

Jemnost příze T [tex] vyjadřuje vztah mezi hmotností m [g] délkové textilie a její délkou L [km]:

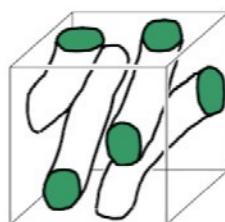
$$T = \frac{m}{L} = \frac{\rho V_v}{L} = \rho S = \rho \sum_{i=1}^n s_i^*, \quad (60)$$

kde ρ [kg/m³] je měrná hmotnost vláken, S [mm²] je plocha příčného řezu příze (substanční plocha příze, která je definována jako součet všech řezných ploch vláken s_i^* [mm²] v průřezu příze) a V_v [m³] je objem vláken. Příze je vyráběna v tzv. jmenovitých jemnostech, což jsou běžně vyráběné jemnosti pro daný materiál [36].

1.4.1.2 Zaplnění

Zaplnění lze definovat různými způsoby. Objemové vyjádření zaplnění (Obr. 17) μ [-] je definováno jako podíl objemu vláken V_v [m^3] ku celkovému objemu V_c [m^3] vlákenného útvaru v intervalu $<0;1>$ viz vztah (61). Plošné vyjádření zaplnění μ [-] se vyjadřuje poměrem ploch vláken S [mm^2] k celkové ploše průřezu příze S_c [mm^2] viz vztah (61):

$$\mu = \frac{V_v}{V_c} = \frac{S}{S_c} . \quad (61)$$



Obr. 17 – Objemové zaplnění příze [20]

Ze vztahu (61) lze odvodit hustotní interpretaci zaplnění μ [-]:

$$\rho V_v = \gamma V_c , \quad (62)$$

kde součin měrné hmotnosti vláken ρ [kg/m^3] a objemu vláken v přízi V_v [mm^3] má stejnou hmotnost m [g] jako součin hustoty vlákenného útvaru γ [kg/m^3] a celkového objemu příze V_c [mm^3]. Předpoklad, že hmotnost příze m_p [g] je rovna hmotnosti vláken m_v [g]:

$$\mu = \frac{\gamma}{\rho} . \quad (63)$$

Vnitřní strukturu příze nebo-li rozložení vláken v řezu lze popsat pomocí radiálního zaplnění příze μ_k [-]. Radiální zaplnění příze je možno stanovit dvěma metodami, metodou přímou a metodou Secant viz IN 22-103-01/01 [38]. Obě dvě metody využívají dat získaných z reálného příčného řezu příze, metoda Secant souřadnice středů vlákenných ploch a metoda přímá jejich kontury. Metoda Secant je méně časově náročná. Ze souřadnic středů vláken, jejich jemnosti a hustoty materiálu jsou rekonstruovány plochy řezu vláken. Tyto plochy jsou korigovány dle velikosti zákrutu, protože při kolmém řezu osy příze nebude kolmý řez u os vláken, jejich plocha se proto musí zvětšit. Zrekonstruovaný řez příze je dále rozdělen do několika mezikruží

a radiální zaplnění $\mu_k [-]$ je vypočteno jako podíl plochy vláken v mezikruží $S_k [\text{mm}^2]$ ku ploše celého mezikruží $S_{C_k} [\text{mm}^2]$:

$$\mu_k = \frac{S_k}{S_{C_k}}. \quad (64)$$

Radiální zaplnění je korigováno sklonem vláken způsobené migračními jevy. Podrobněji je metoda Secant popsána v interní normě [38]. Výsledné radiální zaplnění $\mu_k [-]$ představuje histogram závislosti zaplnění v jednotlivých mezikruzích na poloměru příze. Metoda Secant dále umožňuje určit efektivní průměr příze $D_{ef} [\text{mm}]$, což je smluvní hodnota odpovídající hodnotě průměrného radiálního zaplnění 0,15. Efektivní průměr příze D_{ef} lze např. odhadnout interpolací z naměřených hodnot radiálního zaplnění $\mu_k [-]$. Metoda Secant také umožňuje určit počet vláken $n [-]$ v příčném řezu příze [22], [32] a [38].

V průřezu příze se zaplnění mění. Největších hodnot zaplnění dosahuje v jádře příze, kde jsou vlákna nejvíce stlačena vnějšími vrstvami zakroucených vláken. Zaplnění postupně klesá směrem k povrchu přes oblast husté chlupatosti k oblasti řídké chlupatosti. V některých případech dochází i v oblasti osy příze k poklesu zaplnění [22], [32].

Komprimační teorie je založená na definici dostředivých mezivláčenných tlaků způsobených zákrutem [22]. Vychází z několika předpokladů a umožňuje odhad zaplnění příze:

- vlákna jsou v přízi stlačována v důsledku zákrutu,
- stlačování vyvozují vnější vrstvy vláken, tloušťka stlačované vrstvy je konstantní,
- uspořádání vláken je popsáno šroubovicovým modelem,
- platí závislost mezi tlakem a zaplněním (korigovaná teorie van Wyka), kde tlak mezi vlákny $p [\text{MPa}]$ je funkcí zaplnění příze $\mu [-]$, mezního zaplnění příze $\mu_m [-]$ a materiálové konstanty $k_p [-]$ viz vztah (65):

$$p = \frac{k_p \mu^3}{\left[1 - \left(\frac{\mu}{\mu_m}\right)^3\right]^3}. \quad (65)$$

Zaplnění $\mu [-]$ lze určit pomocí této komprimační teorie dosazením do vztahu (66) a při znalosti parametru materiálu a technologie $M [\text{m}]$, který je za pomoci dalších parametrů vyjádřen vztahem (67):

$$\frac{\left(\frac{\mu}{\mu_m}\right)^{\frac{5}{2}}}{\left(1-\left(\frac{\mu}{\mu_m}\right)^3\right)^3} = \frac{M\alpha^2}{D_s\rho\mu_m^{\frac{5}{2}}}, \quad (66)$$

$$\frac{\left(\frac{\mu}{\mu_m}\right)^{\frac{5}{2}}}{\left(1-\left(\frac{\mu}{\mu_m}\right)^3\right)^3} = \frac{M\sqrt{\pi}}{2000\mu_m^{\frac{5}{2}}\sqrt{\rho}}\left(ZT^{\frac{1}{4}}\right)^2, \quad (67)$$

kde μ [-] je zaplnění, μ_m [-] je mezní zaplnění, ρ [kg/m³] je měrná hmotnost vláken, Z [m⁻¹] je zákrut příze, α [m⁻¹ktex^{1/2}] je Köchlinův zákrutový koeficient, D_s [mm] je substanční průměr příze (viz kapitola 1.4.1.3) a T [tex] je jemnost příze. V parametru M jsou obsaženy vlivy vláken, jako je tvar příčného řezu, tření, tuhost v ohybu apod. Je to vlastně vyjádření míry uspořádanosti vláken v přízi. Kromě vlivu suroviny jsou v něm zahrnuty také vlivy technologie výroby příze, které významně ovlivňují paralelizaci a orientaci vláken [32].

Veličina $(1-\mu)$, která se vyjadřuje jako podíl objemu vzduchových pórů a celkového objemu se nazývá poróznost [36].

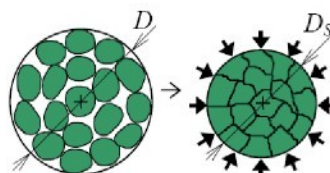
1.4.1.3 Průměr

Pokud jsou vlákna v přízi stlačena a je odstraněn všechen vzduch, stává se z příze homogenní válec o substančním průměru D_s [mm] příze, který lze definovat jako:

$$D_s = \sqrt{\frac{4T}{\pi\rho}}, \quad (68)$$

kde T [tex] je jemnost příze a ρ [kg/m³] je měrná hmotnost vláken (Obr. 16).

Skutečná příze není homogenním válcem, protože se mezi vlákny vyskytují vzduchové mezery, hustota stěsnání vláken není rovnoměrná a směrem k povrchu přechází spojitě do oblasti chlupatosti. Řez příze není osově symetrický.



Obr. 18 – Průřez a substanční průřez příze [20]

Skutečný průměr příze D [mm] je vyjádřen vztahem (69):

$$D = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}}, \quad (69)$$

kde T [tex] je jemnost příze, ρ [kg/m³] je měrná hmotnost vláken a μ [-] je zaplnění. Mezi průměrem příze D a substančním průměrem D_s , platí relace $D > D_s$. Poměr:

$$\frac{D_s}{D}, \quad (70)$$

je bezrozměrnou veličinou, která charakterizuje vztah průměru příze k její jemnosti [22].

1.4.1.4 Poměrná jemnost

Poměrnou jemnost příze τ [-] lze vyjádřit podílem jemnosti příze T [tex] a jemnosti vláken t_v [tex], podílem substančního průřezu příze S [mm²] a průřezu vlákna s [mm²], druhou mocninou podílu substančního průměru příze D_s [mm] a průměru vlákna d_v [mm] nebo podílem jemnosti vlákenného svazku T_{sv} [tex] a jemnosti vláken t_v [tex] viz vztah (71):

$$\tau = \frac{T}{t_v} = \frac{S}{s} = \left(\frac{D_s}{d_v}\right)^2 = \frac{T_{sv}}{t_v}. \quad (71)$$

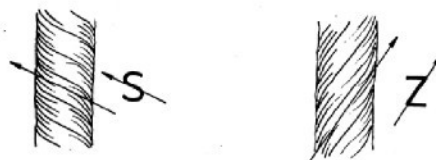
Poměrná jemnost je prakticky užívána k odhadu počtu vláken v příčném řezu příze [22], [36] a [37].

1.4.1.5 Zákrut

Při zpevňování vláken ve vlákenném svazku dochází ke zvýšení kontaktů mezi vlákny, vzájemnému přitlačení vláken k sobě a ke zvyšování tření mezi vlákny. Vazné body v přízi jsou realizovány zhutněním vlákenného svazku prostřednictvím zákrutu. Zhutnění se provádí jak u krátkých (střížových nebo staplových) vláken, která musí být před zakroucením urovnána do rovnoběžné polohy, tak i u vláken dlouhých (tzv. hedvábí).

Jemnější příze mají menší počet vláken v průřezu, menší průměr a jsou předeny v převážné většině s vyšším zákrutem. Se zvyšujícím se zákrutem jsou vlákna v přízi více stlačována, a tím se zmenšuje průměr příze a roste zaplnění. Rozlišujeme dva druhy zákrutů, a to zákrut trvalý a nepravý. U trvalého zákrutu jsou vlákna zakrucována v jednom směru kolem osy vlákenného produktu (přástu nebo příze). Zákrut je vyjadřován počtem otáček, které jsou vloženy zakrucovacím pracovním orgánem (např.

vřetenem, křídlem nebo rotorem bez vřetenového předení atd.) na délku 1 m. Podle směru zakrucování označujeme zákrut jako pravý (Z) a levý (S) viz Obr. 19. Trvalým zákrutem se dosahuje největšího zpevnění vlákenného produktu, proto se nejvíce používá při zpevňování příze a výrobě skané příze.



Obr. 19 – Levý a pravý směr zákrutu [7]

Nepravý zákrut vzniká postupným zakrucováním v obou směrech. Účelem nepravého zákrutu je zpevnění vlákenného produktu prostřednictvím sbližování a zhušťování vláken, aby se lépe uplatnila mezivlákněná soudržnost, která je dána zejména povrchovou strukturou a dalšími vlastnostmi vláken. Působí-li při zakrucování nepravým zákrutem současně velké příčné stlačující síly, jedná se o zaoblování. Nepravý zákrut se dělí na plynulý (krutné ústrojí rotuje v jednom směru) a na vratný (krutné ústrojí rotuje střídavě v jednom a druhém směru). Tento zákrut se používá pro zpevnění meziproduktu vlákenného materiálu.

Strojový zákrut Z [m^{-1}] lze určit pomocí vztahu (72):

$$Z = \frac{n_{ot}}{v}, \quad (72)$$

kde v [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] je odváděcí rychlost a n_{ot} [mm^{-1}] jsou otáčky zákrutového ústrojí [30], [32], [36] a [39].

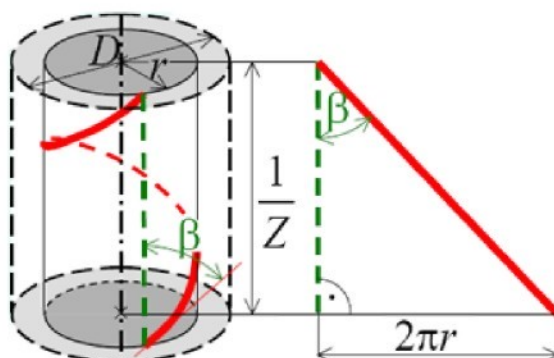
1.4.1.6 Šroubovicový model příze

Z hlediska uspořádání vláken je popis struktury příze velmi složitý, proto se často užívá šroubovicový model příze, který vychází z následujících předpokladů:

- přízi tvoří válec o průměru D ,
- osy vláken tvoří soustavu souosých šroubovic na obecných poloměrech $r \in (0; D/2)$,
- vlákna jsou válcová a jejich průřezem je kruh o poloměru d_e a ploše s ,
- výška stoupání šroubovice je rovna $1/Z$,
- mezi úhlem stoupání šroubovice β obecného vlákna a zákrutem Z platí vztah:

$$\text{tg} \beta = 2\pi Z, \quad (73)$$

kde β [rad] je úhel stoupání šroubovice obecného vlákna příze, r [mm] je obecný poloměr příze a Z [m⁻¹] je zákrut příze (viz Obr. 20).



Obr. 20 – Šroubovice vlákna na obecném poloměru r [40]

V příčném řezu příze (řez vedený kolmo k ose příze) zanechává válcové vlákno s trajektorií šroubovice plochu s^* [mm²] ve tvaru elipsy, pro níž platí vztah:

$$s^* = \frac{s_v}{\cos \beta} = s_v \sqrt{1 + (tg \beta)^2} = s_v \sqrt{1 + (2\pi Z)^2}, \quad (74)$$

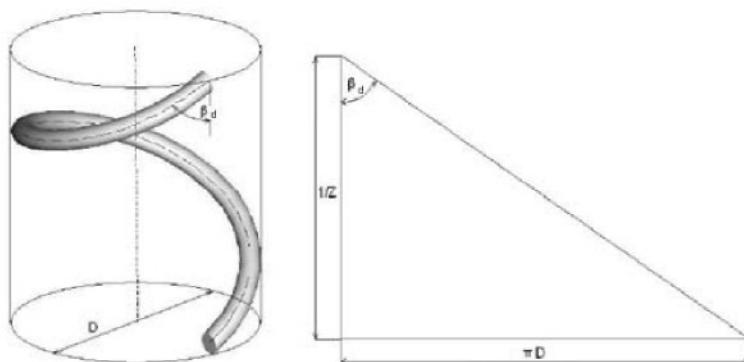
kde s_v [mm] je plocha příčného řezu vlákna. Součet všech řezných ploch vláken s^* [mm²] v průřezu příze odpovídá substančnímu průřezu S [mm²] [36].

1.4.1.7 Intenzita zákrutu

Intenzita zákrutu κ [-] je tangentou úhlu β_d [rad] stoupání šroubovice povrchového vlákna v přízi, které se nachází na poloměru D [mm] (viz Obr. 21). Po nahrazení $2r$ za D ve vztahu (73) lze intenzitu vyjádřit jako:

$$\kappa = tg \beta_d = \pi D Z, \quad (75)$$

kde Z [m⁻¹] je zákrut příze [36].



Obr. 21 – Šroubovicový model příze [7]

1.4.1.8 Zákrutový koeficient

Zákrutový koeficient závisí na zákrutu příze $Z [\text{m}^{-1}]$ a na jemnosti příze $T [\text{tex}]$. Rozeznáváme dva druhy zákrutového koeficientu Köchlinův a Phrixův.

Köchlinův zákrutový koeficient lze vyjádřit jako:

$$\alpha = ZT^{1/2} = \kappa \frac{\sqrt{\mu\rho}}{\sqrt{4\pi}}; \alpha [\text{m}^{-1}\text{ktex}^{1/2}] = \frac{Z [\text{m}^{-1}] T^{1/2} [\text{tex}]}{31,623}, \quad (76)$$

kde $\alpha [\text{m}^{-1}\text{ktex}^{1/2}]$ je Köchlinův zákrutový koeficient, $\rho [\text{kg/m}^3]$ je měrná hmotnost vláken, $\kappa [-]$ je intenzita zákrutu a $\mu [-]$ je zaplnění.

Phrixův zákrutový koeficient lze definovat jako:

$$a = ZT^{2/3} = \alpha T^{1/6}; a [\text{m}^{-1}\text{ktex}^{2/3}] = \frac{Z [\text{m}^{-1}] T^{2/3} [\text{tex}]}{100}, \quad (77)$$

kde $Z [\text{m}^{-1}]$ je zákrut, $T [\text{tex}]$ je jemnost příze, $a [\text{m}^{-1}\text{ktex}^{2/3}]$ je Phrixův zákrutový koeficient, $\alpha [\text{m}^{-1}\text{ktex}^{1/2}]$ je Köchlinův zákrutový koeficient.

Phrixův zákrutový koeficient se zpravidla užívá pro příze a Köchlinův zákrutový koeficient se užívá pro hrubší útvary jako např. pro přásky [36].

1.4.1.9 Charakteristiky uspořádání vláken v přízi

Koeficient migrace $k_s [-]$ porovnává reálné uspořádání vláken s uspořádáním do šroubovic a je určen vztahem (78):

$$k_s = \frac{S_r}{S}, \quad (78)$$

kde $S_r [\text{mm}^2]$ je reálná součtová plocha vláken v průřezu příze a $S [\text{mm}^2]$ je substanční průřez. Veličina k_s je rovna jedné, pokud reálná příze odpovídá šroubovicovému modelu (součtová plocha S_r je shodná se substančním průřezem S).

Koeficientem počtu vláken $k_n [-]$ lze porovnávat reálný počet vláken v průřezu příze $n_r [-]$ s počtem vláken paralelního svazku stejné jemnosti:

$$k_n = \frac{n_r}{\tau} = \frac{n_r}{\left(\frac{T}{t_v}\right)}, \quad (79)$$

kde $\tau [-]$ je poměrná jemnost příze, $T [\text{tex}]$ je jemnost příze a $t_v [\text{tex}]$ je jemnost vlákna. Další vyjádření koeficientu počtu vláken $k_n [-]$ podle Neckáře lze pomocí vztahů (80):

$$k_n = \frac{2}{(\pi DZ)^2} \left[\sqrt{1 + (\pi DZ)^2} - 1 \right]; k_n = \frac{2 \cos \beta_d}{1 + \cos \beta_d}, \quad (80)$$

kde D [-] je průměr příze, β_d [rad] je úhel stoupání šroubovice povrchového vlákna příze a Z [m⁻¹] je zákrut. U kroucených přízí je koeficient k_n teoreticky menší než jedna, protože vlákna jsou v přízi vlivem zákrutu skloněna vzhledem k ose, kde vytínají větší plochy a v průřezu je jich méně [36], [40].

1.4.1.10 Nestejnoměrnost

V příčném řezu příze hodnoty veličin jako je jemnost, zákrut, průměr či počet vláken náhodně kolísají. Toto kolísání se pak projevuje na kvalitě příze (dédkové textilie či plošné textilie z ní vyrobené). Může ovlivňovat přetrhavost při dopřádání a negativně se projevovat různými efekty ve tkanině a pletenině jako je např. „moiré“ efekt nebo pruhovitost.

Nejčastěji se zjišťuje tzv. hmotová nejednotnost, což je kolísání tloušťky průřezu podél osy délkové textilie. Hmotovou nejednotnost lze sledovat u přízí, nití pramenů, přástů a stůček. Rozlišuje se nejednotnost na krátkých a dlouhých úsečkách.

Nejednotnost na dlouhých úsečkách se zjišťuje nepřímou, vážením úseků předepsané délky. Nejednotnost se pak posuzuje podle variačního koeficientu, který vyjadřuje míru variace.

Na krátkých úsečkách se nejednotnost zjišťuje na aparatuře Uster Tester, která měří nejednotnost na kapacitním principu. Jde o kontinuální měření, kde délková textilie prochází mezi deskami kondensátoru. Změna tloušťky procházející délkové textilie vyvolá změnu elektrické veličiny na deskách kondensátoru. Vyhodnocený signál v integrátoru se zaznamenává jako koeficient variace. Naměřená hodnota je pak označována jako efektivní nejednotnost (kvadratická CV_{ef} [%], lineární U_{ef} [%]):

$$CV_{ef} = \sqrt{CV_{lim}^2 + CV_f^2}; U_{ef} = \sqrt{U_{lim}^2 + U_f^2}, \quad (81)$$

$$CV_{lim} = \frac{100}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \left(\frac{v_p}{100}\right)^2}; U_{lim} = \frac{80}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \left(\frac{v_p}{100}\right)^2},$$

kde CV_f [%] je kvadratická výrobní nejednotnost, U_f [%] je lineární výrobní nejednotnost, CV_{lim} [%] je kvadratická limitní nejednotnost, U_{lim} [%] je lineární limitní nejednotnost, v_p [%] je variace průřezu vlákna a n [-] je počet vláken v průřezu délkové textilie. Minimální možná nejednotnost, způsobená variabilitou počtu vláken se nazývá limitní a lze vyjádřit zjednodušujícími vztahy:

$$CV_{\lim} = \frac{100}{\sqrt{n}}; U_{\lim} = \frac{80}{\sqrt{n}}, \quad (82)$$

Indexem nestejnoměrnosti I [%] lze vyjádřit míru nestejnoměrnosti délkového produktu, tj. jak se skutečný přádelnický produkt odchyluje od ideálního viz vztah (83). Pomocí tohoto indexu lze příze porovnávat s ostatními výrobci pomocí přístroje Uster Statistic:

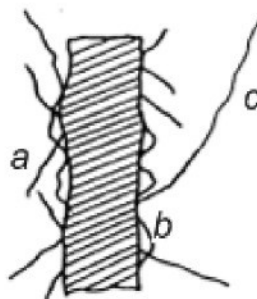
$$I = \frac{CV_{ef}}{CV_{\lim}} = \frac{U_{ef}}{U_{\lim}} > 1. \quad (83)$$

Čím je nestejnoměrnost nižší (při sledování na dlouhých a krátkých úsečkách), tím je příze kvalitnější [30], [39] a [41].

1.4.1.11 Chlupatost

Chlupatost příze je charakterizována množstvím z povrchu vystupujících konců vláken nebo vláknenných smyček. Kritérium pro posuzování je počet odstávajících vláken, jako délkových jednotek, ve směru kolmém k přízi. Chlupatost příze je způsobena délkou vláken a použitou technologií předení. Tato vlastnost výrazným způsobem ovlivňuje jak zpracovatelské vlastnosti (např. seskatelnost, spotřebu šlichty a substance pro zušlechťovací procesy, aj.), tak i užité vlastnosti koncového produktu (jako např. omak, zaplnění, vzhled, nopky, atd.).

Při posuzování těchto vlastností, lze rozlišovat dva typy chlupatosti. Hustá chlupatost tvoří jakýsi „mech“ na přízi. Vlákná těsně přiléhající k tělu příze. Tvoří ji vyčnívající konce nebo smyčky vláken, které jsou klenuté ven z těla příze (viz Obr. 22 – vlákno a, b). Hustá chlupatost ovlivňuje užité vlastnosti. U řídké chlupatosti vyčnívají z těla příze dlouhé konce vláken (Obr. 22 – vlákno c), které negativně ovlivňují zpracovatelské a užité vlastnosti (např. vznik žmolků) [7], [41].



Obr. 22 – Kolmý průřez příze [52]

1.4.2 Mechanické vlastnosti příze

Pevnost příze zachycuje okamžik destrukce, ke které dojde v nejméně pevném, nejslabším místě namáhaného úseku příze (podrobněji viz kapitola 1.2.3.2).

Pevnost příze je určena jednak upínací délkou, rychlostí posuvu čelistí trhačích stroje, dále pevností samotného vláknenného materiálu a jejími strukturálními faktory, jako je např. zákrut, stupeň napřímení vláken, migraci vláken a další vlivy.

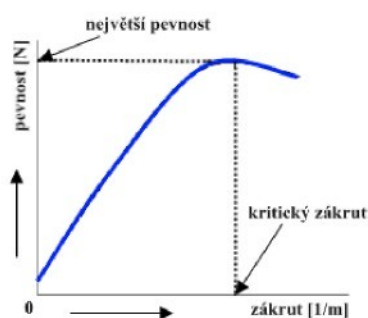
Tuto vlastnost P_p lze vyjádřit jako absolutní pevnost v tahu F_p v jednotkách síly [N]. V praxi se ale běžně užívá tzv. poměrná pevnost R_p vyjádřená v [N/tex]

$$R_p = \frac{F_p}{T} \quad (84)$$

kde P_p [N] je pevnost příze a T [tex] je jemnost příze [22][35].

Tažností příze ε_p [%] se rozumí poměrné prodloužení Δl [mm] při přetržení viz kapitola 1.2.2 [35]. Další mechanické vlastností jsou popisovány v kapitole 1.2.2 a kapitole 1.3.3.

Pevnost a tažnost jsou jedním ze základních ukazatelů kvality příze. Nízká pevnost nebo její zvýšená variabilita vede k přetrhům, při jejím dalším zpracování. Jedním ze základních parametrů ovlivňujících její pevnost je zákrut, který při jeho zvyšování vede až k hladině kritického zákrutu, kde pak pevnost klesá a vede až k přetrhu příze. Nepatrnou pevnost vykazuje již svazek nezakroucených vláken. S přirůstajícím zákrutem se pevnost příze zvyšuje, naopak při nižších hodnotách zákrutu příze dochází k prokluzu vláken. S rostoucím zákrutem dochází ke stlačení a lepšímu sevření vláken, což zabraňuje možnosti prokluzu.



Obr. 23 – Závislost mezi pevností a zákrutem příze[22]

Na Obr. 23 je znázorněna závislost mezi pevností a zákrutem příze, kde je vidět, že po hranici kritického zákrutu křivka s počtem zákrutů stoupá a za hranicí klesá [22].

Další faktory, které ovlivňují pevnost příze kromě faktorů z hlediska vláknenné suroviny (jemnost, délka, aj.) jsou to např. technologie výroby, vnitřní uspořádání vláken v přízi, sklon vláken k ose příze, navlnění vláken, prokluzu a migrace viz kapitola 1.4.3.

1.4.3 Metody predikce pevnosti přízí

Relativní (poměrná) pevnost příze σ_p [N/tex] bývá často vyjadřována jako součin poměrné pevnosti vláken σ_v [N/tex] a využití pevnosti vláken v přízi ϕ_{vp} [-]:

$$\sigma_p = \sigma_v \phi_{vp} = \sigma_s \phi_{sp} = \sigma_v \phi_{vs} \phi_{sp}. \quad (85)$$

Využití pevnosti vláken v přízi ϕ_{vp} je součinem využití pevnosti vláken ve svazku ϕ_{vs} [-] a využití pevnosti svazku v přízi ϕ_{sp} [-], σ_s [N/tex] je pevnost vláken ve svazku. Jednotlivé hodnoty využití pevnosti by měly být menší než 1.

Největší pevnosti dosahují jednotlivá vlákna a nejnižší příze. Pro jednotlivé veličiny využití a pevnosti jsou navrhovány různé vztahy [32].

1.4.3.1 Predikce pevnosti přízí podle A. N. Solověva

Predikce poměrné pevnosti příze σ_p [N/tex] dle Solověva je vyjádřena vztahem (86):

$$\sigma_p = \sigma_v f_n f_l f_\alpha \psi, \quad (86)$$

kde σ_v [N/tex] je poměrná pevnost vláken, f_n [-] je součinitel vlivu počtu vláken, f_l [-] je součinitel vlivu délky vláken, f_α [-] je součinitel vlivu zákrutu příze a ψ [-] je součinitel vlivu technologie. Součinitel ψ [-] má hodnotu v intervalu 0,95 ÷ 1,1. Obvykle se do výpočtu dosazuje hodnota $\psi = 1$.

Jednotlivý součinitelé nabývají maximální hodnoty 1 a zmenšují tak o příslušné vlivy poměrnou pevnost vláken σ_v . Solověv dále navrhnul následující vztahy pro součinitele f_n a f_l :

$$f_n = 1 - CH - \frac{k}{\sqrt{T/t}}, \quad (87)$$

$$f_l = 1 - \frac{h}{l}, \quad (88)$$

kde T [tex] je jemnost příze, t [tex] je jemnost vláken, l [mm] je délka vláken, C , H , k , h jsou konstanty závislé na materiálu a technologii výroby příze. Pro určení součinitele vlivu zákrutu f_α [-] byly tabelovány hodnoty pro některé materiály. V práci [22] jsou pro bavlněné příze nahrazeny tabulkové hodnoty vztahem (89):

$$f_{\alpha} = 1 + \delta^2 \left[6,67 \cdot 10^{-7} \cdot \delta - \left(\frac{0,02027}{179,4 + (\delta + 10)^2} \right) - 8 \cdot 10^{-5} \right], \quad (89)$$

$$\text{kde } \delta = \alpha - \alpha_k, \quad (90)$$

kde δ [%] je relativní chyba predikce (rozdíl mezi užitným a kritickým Köchlinův zákrutovým koeficientem), α je $[\text{m}^{-1}\text{ktex}^{1/2}]$ je Köchlinův zákrutový koeficient a α_k $[\text{m}^{-1}\text{ktex}^{1/2}]$ je Köchlinův kritický zákrutový koeficient. V práci [22] existuje pro kritický zákrutový koeficient několik empirických vztahů typu:

$$\alpha_k = a_1 T^{a_2}, \quad (91)$$

kde a_1, a_2 jsou koeficienty regrese je a T [tex] je jemnost příze.

Výhodou vztahu (85) je, že zahrnuje souhrn základních vlivů, jako je jemnost, délka a pevnost vláken, jemnost, zákrut a technologie výroby příze na její pevnost [7], [22] a [32].

1.4.3.2 Predikce pevnosti přízí podle B. Neckáře

Podle Neckáře [22] se poměrná pevnost příze σ_p [N/tex] určí pomocí vztahu:

$$\sigma_p = \sigma_v \phi_{vp}, \quad (92)$$

kde σ_v [N/tex] je poměrná pevnost vláken, ϕ_{vp} [-] je využití vláken v přízi. V práci [22] navrhuje Neckář pro využití pevnosti vláken v přízi vztah ϕ_{vp} [-]:

$$\phi_{vp} = \varphi \phi \chi \varpi, \quad (93)$$

kde φ [-] je vliv sklonu vláken, ϕ [-] je vliv navlnění vláken, χ [-] je vliv prokluzu vláken a ϖ [-] je vliv vlákenné migrace.

Vliv sklonu vláken φ [-] je možné učit vztahem:

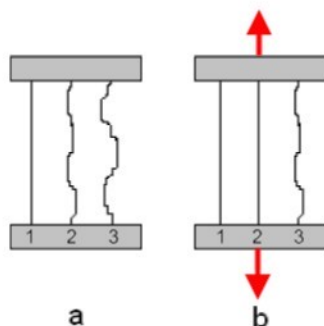
$$\varphi = (1 + \eta_{kor}) \cos^2 \beta_d + \eta_{kor} \frac{(\ln \cos^2 \beta_d)}{\lg^2 \beta_d}, \quad (94)$$

$$\eta_{kor} = \frac{\left| 2(\eta + 2) \left(\frac{r_c}{r} \right)^2 - (4 - 3\eta) \right|}{5}, \quad (95)$$

kde η [-] má význam Poissonova poměru příze, její korigovaná hodnota se označuje η_{kor} [-]. Kde β_d [rad] je úhel stoupání šroubovice povrchových vláken v přízi, r_c [mm] je konstantní poloměr příze a r [mm] je poloměr výchozí nezátížené příze. Podle práce [22] je pro Poissonův poměr příze η navržena hodnota 0,5, kdy při malých deformacích je zachován objem příze. Sклон vláken k ose příze patří k důležitým faktorům, které

ovlivňují tahovou křivku vláken. V reálné přízi mají vlákna jiný sklon na povrchu příze a jiný sklon v jádru příze.

V přízi se vlákna dotýkají a v místech styku se navzájem silově ovlivňují. Vlákna mezi styčnými body (kontakty) vytvářejí úseky různých prostorových tvarů. Tyto tvary mohou být přímkové nebo navlněné (zobloučkové, zkadeřené). Toto navlnění se často projevuje na výsledném charakteru tahové křivky příze.



Obr. 24 – Vliv navlnění vláken při tahovém namáhání [22]

a) vlákno v čelistech b) oddálení čelistí

Obr. 24 a) představuje tři různá vlákna, která jsou upnutá v čelistech. Vlákno 1 je přímkové a vlákna 2 a 3 jsou v určité míře navlněná. Při oddálení čelistí viz Obr. 24 b) se vlákno 1 prodlužuje a vzniká v něm napínací síla. U vlákna 2 je vidět, že se nejprve vyrovnalo a poté se začalo napínat, proto bude jeho pevnost menší než u vlákna 1. Vlákno 3 se ve znázorňovaném okamžiku doposud nevyrovnalo, a proto tedy nepřenáší žádnou sílu. Výsledná síla působící na čelisti je rozhodně menší než síla, která by při stejném oddálení vznikla za použití trojce přímkových vláken. Podobným způsobem se pravděpodobně chovají i vlákna v přízi. Podstata vlivu navlnění λ [-] na pevnost příze σ_p [N/tex] spočívá v tom, že vlákna v přízi, která jsou mezi kontaktními místy navlněná a nepřenášejí při tahovém namáhání plně sílu a snižují tak výslednou pevnost. Navlnění je definováno vztahem (10) a pro faktor navlnění ϕ [-] je odvozen vztah (96):

$$\phi = \frac{1 + \varepsilon_p}{\varepsilon_p} \left[\frac{1 + \bar{\xi}}{1 + 2\bar{\xi}} + \frac{1 + \bar{\xi}}{1 + 2\bar{\xi}} (1 + \varepsilon_p)^{\frac{(2\bar{\xi}+1)}{\bar{\xi}}} \right] - \frac{1}{\varepsilon_p}, \quad (96)$$

kde ε_p [%] je poměrné prodloužení příze a $\bar{\xi}$ [-] je mechanicky vyrovnatelné napětí. Za předpokladu Paretova rozložení je pro veličinu $\bar{\xi}$ [-] navržen vztah (97):

Příloha č. 1 – Vlákná

Tab. 1 – Četnost délek vláken z třídícího kuličkového přístroje

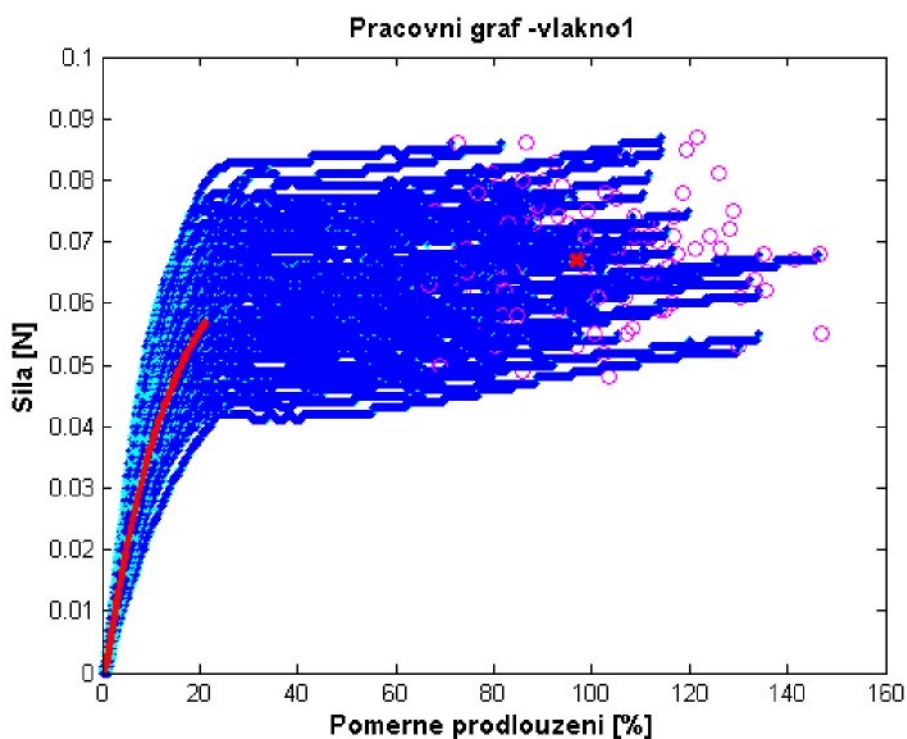
l_v [mm]	Četnost vláken	
	Typ č. 1	Typ č. 2
40	0	7
45	8	105
50	372	385
55	120	3

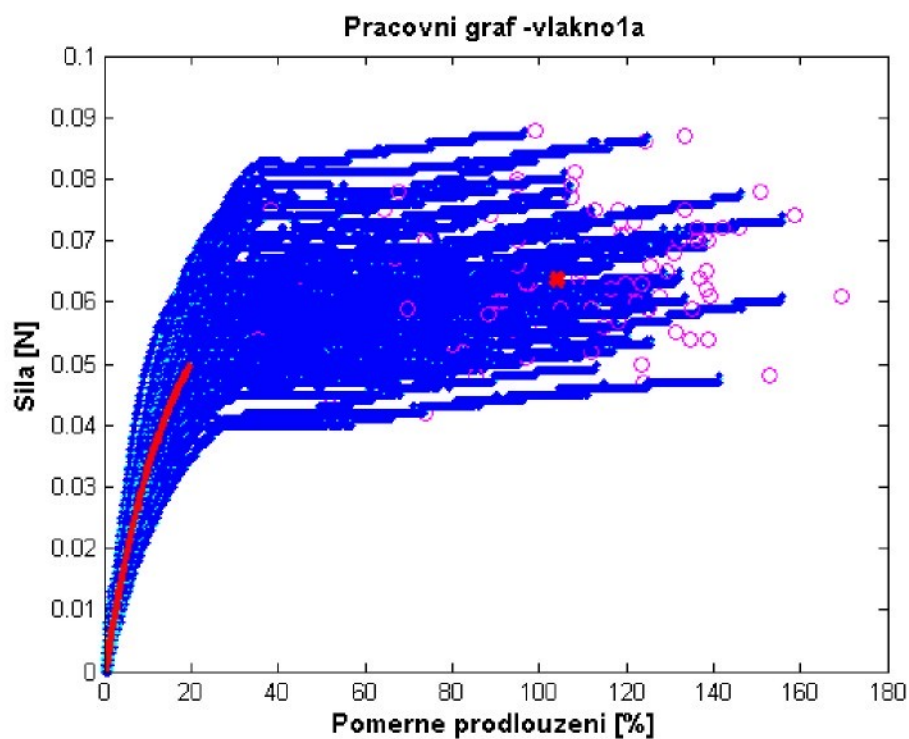
Tab. 2 – Naměřené a dopočítané hodnoty navlněného vlákna typ č. 1

Typ č. 1			
Poř. č.	l_v [mm]	h [mm]	λ [%]
1	51,36	48,39	6,15
2	50,39	47,56	5,95
3	51,90	48,02	8,08
4	50,88	47,01	8,21
5	51,49	49,12	4,82
6	52,82	50,03	5,58
7	53,28	50,49	5,54
8	52,79	51,04	3,44
9	53,15	50,22	5,84
10	51,54	48,02	7,33
11	55,00	51,59	6,61
12	53,91	49,85	8,14
13	52,43	48,75	7,55
14	50,76	48,29	5,10
15	53,58	49,39	8,48
16	54,75	51,59	6,13
17	53,80	50,49	6,55
18	53,52	50,76	5,43
—	52,63	49,48	6,39
$\bar{x}$	<52,26 ; 53>	<49,10 ; 49,86>	<6,02 ; 6,75>
s_o	1,3292	1,360	1,327
v_k	0,025	0,027	0,208
s^2	1,871	1,957	1,864

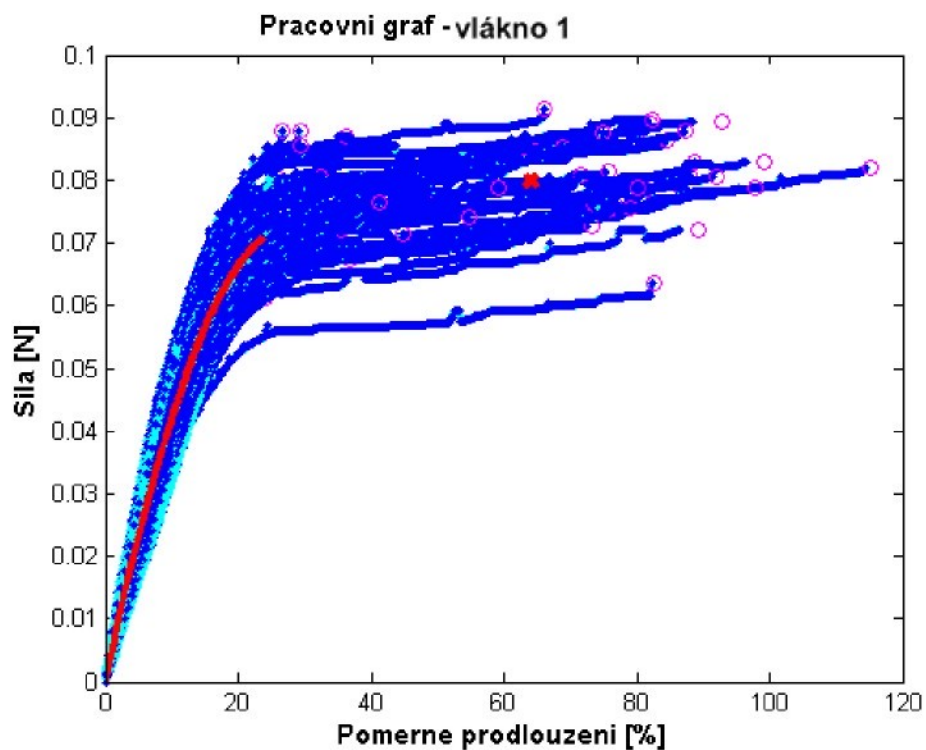
Tab. 3 – Naměřené a dopočítané hodnoty navlněného vlákna typ č. 2

Typ č. 2			
Poř. č.	l_v [mm]	h [mm]	λ [%]
1	48,71	46,19	5,46
2	46,96	45,09	4,13
3	48,84	46,83	4,30
4	47,00	44,09	6,62
5	49,97	47,20	5,87
6	47,01	44,00	6,86
7	47,92	45,09	6,26
8	45,79	44,54	2,80
9	48,57	44,64	8,81
10	49,35	45,55	8,33
11	46,35	42,26	9,68
12	46,32	42,53	8,90
13	46,14	42,62	8,26
14	46,73	42,62	9,63
15	49,77	45,55	9,27
16	47,51	45,55	4,31
17	46,93	44,54	5,35
18	45,99	42,53	8,13
—	47,55	44,52	6,83
$\bar{x}$	<47,19 ; 47,91>	<44,11 ; 44,94>	<6,26 ; 7,41>
s_0	1,306	1,488	2,079
v_k	0,0275	0,033	0,304
s^2	1,805	2,343	4,576

Obr. 1 – Graf jednotlivých tahových pracovních křivek vlákna typ č. 1 při rychlosti posuvu příčnicku $v_l = 100$ mm/min z přístroje Lab Test



Obr. 2 – Graf jednotlivých tahových pracovních křivek vlákna typ č. 1 při rychlosti posuvu příčnicku $v_2 = 40$ mm/min z přístroje Lab Test



Obr. 3 – Graf jednotlivých tahových pracovních křivek vlákna typ č. 1 při zkoušené rychlosti $v = 10$ mm/min z přístroje Vibrodyn

Tab. 4 – Naměřené a dpočítané hodnoty vlákna typ č. 1 z přístroje Lab Test

Vlákno1						
PP ASOTA VLÁKNO 2,2 dtex / 50 mm						
Rychlost posuvu přičníku $v_1 = 100$ mm/min						
i	R	P	ε	W	t	v
[-]	[N/tex]	[N]	[%]	[J]	[sec]	[mm/min]
1	0,2611	0,05745	30,78	0,000401	4,82	99,23
2	0,2344	0,05156	101,72	0,000472	6,36	99,42
3	0,3515	0,07734	105,06	0,000712	6,36	99,42
4	0,3344	0,07356	72,76	0,000472	4,44	99,22
5	0,3150	0,06931	108,72	0,000667	6,62	99,45
6	0,2426	0,05337	96,44	0,000463	5,88	99,42
7	0,3325	0,07314	30,13	0,000521	4,94	99,33
8	0,3846	0,08462	106,45	0,000779	6,44	99,48
9	0,3655	0,08042	89,78	0,00062	5,48	99,39
10	0,2346	0,05161	26,13	0,00035	4,68	99,29
11	0,2701	0,05943	26,13	0,000395	4,56	99,27
12	0,2665	0,05862	112,77	0,000557	6,88	99,51
13	0,3577	0,0787	80,45	0,000552	4,92	99,32
14	0,3862	0,08496	119,45	0,000859	7,22	99,54
15	0,2195	0,0483	100,77	0,000436	6,26	99,46
16	0,3555	0,07821	116,43	0,000792	7,18	99,53
17	0,2387	0,05251	130,1	0,000561	7,88	99,57
18	0,3428	0,07541	99,11	0,000617	6	99,44
19	0,2782	0,06121	94,46	0,000503	5,76	99,43
20	0,3680	0,08095	79,78	0,000561	4,84	99,31
21	0,3359	0,07389	91,11	0,000604	5,64	99,41
22	0,2558	0,05627	80,45	0,000395	4,9	99,32
23	0,2258	0,04967	66,47	0,000277	4,04	99,21
24	0,2778	0,06111	106,79	0,00057	6,46	99,5
25	0,3347	0,07363	109,11	0,000693	6,58	99,49
26	0,2830	0,06225	30,49	0,000417	4,66	99,32
27	0,3600	0,07921	92,46	0,00066	5,7	99,43
28	0,2981	0,06558	34,81	0,000375	4,16	99,23
29	0,3183	0,07003	112,44	0,000682	6,88	99,51
30	0,2573	0,05661	82,13	0,0004	4,98	99,36
31	0,3074	0,06763	72,79	0,000425	4,42	99,26
32	0,3012	0,06627	74,12	0,000419	4,5	99,27
33	0,3141	0,0691	119,44	0,000726	7,32	99,54
34	0,3037	0,06681	98,11	0,00056	5,94	99,44
35	0,3080	0,06775	117,1	0,000693	7,1	99,52
36	0,3060	0,06732	141,42	0,000764	8,54	99,59
37	0,3899	0,08578	72,12	0,000536	4,42	99,25
38	0,2241	0,04931	85,78	0,000366	5,2	99,36
39	0,2495	0,05489	107,11	0,000482	6,48	99,48
40	0,2775	0,06104	130,1	0,000668	7,88	99,57
41	0,2532	0,0557	73,47	0,000358	4,6	99,3
42	0,3325	0,07314	87,79	0,000562	5,34	99,39
43	0,3066	0,06746	105,79	0,000603	6,4	99,49
44	0,3069	0,06752	83,8	0,000476	5,1	99,37
45	0,3922	0,08628	86,8	0,000618	5,26	99,39
46	0,2912	0,06407	79,12	0,000458	4,94	99,33
47	0,2917	0,06418	114,46	0,000625	6,94	99,53
48	0,3388	0,07453	86,46	0,000557	5,32	99,39
49	0,2963	0,06519	110,79	0,000605	6,72	99,51
50	0,2672	0,05879	114,78	0,000537	6,96	99,53
51	0,2943	0,06475	84,13	0,000465	5,1	99,37
52	0,3310	0,07281	81,44	0,000519	5,04	99,34
53	0,2387	0,05252	80,44	0,000356	4,9	99,32
54	0,3445	0,0758	89,11	0,000578	5,38	99,38

55	0,2571	0,05656	73,45	0,00037	4,56	99,28
56	0,2995	0,06589	115,44	0,000639	7	99,52
57	0,3421	0,07527	67,79	0,000442	4,12	99,2
58	0,2988	0,06573	98,79	0,000574	5,98	99,45
59	0,3647	0,08023	85,78	0,000587	5,2	99,36
60	0,2893	0,06364	133,09	0,000709	8,06	99,57
61	0,2912	0,06407	79,12	0,000458	4,94	99,33
62	0,3310	0,07281	81,44	0,000519	5,04	99,34
63	0,2912	0,06407	79,12	0,000458	4,94	99,33
64	0,2601	0,05723	65,81	0,000313	4	99,22
65	0,2624	0,05773	81,85	0,000398	4,96	99,42
66	0,2836	0,06239	72,15	0,000392	4,44	99,31
67	0,3393	0,07465	67,15	0,000429	4,2	99,27
68	0,3115	0,06854	74,47	0,000424	4,54	99,29
69	0,3529	0,07764	76,81	0,000494	4,66	99,33
70	0,3144	0,06916	104,45	0,000618	6,38	99,48
71	0,3147	0,06924	126,15	0,000734	7,64	99,59
72	0,2745	0,06038	116,44	0,000615	7,04	99,53
73	0,2702	0,05945	92,13	0,000483	5,64	99,43
74	0,3231	0,07108	123,81	0,000751	7,5	99,58
75	0,3349	0,07367	115,11	0,00073	7,06	99,53
76	0,2254	0,04959	65,48	0,00029	4,2	99,25
77	0,2852	0,06275	102,12	0,00056	6,22	99,47
78	0,2858	0,06288	66,81	0,000365	4,06	99,23
79	0,3219	0,07082	114,84	0,000704	7,06	99,58
80	0,2814	0,06191	82,3	0,000434	4,98	99,56
81	0,2955	0,065	72,27	0,000416	4,52	99,48
82	0,3327	0,0732	113,87	0,000709	6,9	99,59
83	0,3698	0,08135	125,94	0,000878	7,62	99,43
84	0,3789	0,08335	89,08	0,000676	5,6	99,37
85	0,3332	0,07331	94,73	0,000601	5,76	99,37
86	0,2806	0,06173	135,67	0,000709	8,2	99,52
87	0,3221	0,07087	107,73	0,000667	6,92	99,47
88	0,3238	0,07124	110,08	0,000694	6,76	99,48
89	0,2513	0,05529	144,57	0,00069	8,88	99,48
90	0,2488	0,05474	100,63	0,000482	6,1	99,31
91	0,3285	0,07228	127,67	0,000792	7,74	99,49
92	0,3072	0,06759	146,25	0,0008	8,86	99,49
93	0,2563	0,05639	107,65	0,000534	6,56	99,38
94	0,2758	0,06068	101,33	0,000509	6,14	99,34
95	0,3421	0,07526	128,94	0,000834	7,8	99,44
96	0,3967	0,08728	120,69	0,000893	7,36	99,48
97	0,3564	0,07841	100,98	0,000688	6,22	99,33
98	0,2626	0,05778	83,35	0,000428	5,14	99,24
99	0,3074	0,06762	134,67	0,000763	8,26	99,51
100	0,3214	0,0707	97,99	0,000606	6,12	99,33
$\bar{x}$	0,3045	0,06699	94,36	0,000562	5,93	99,41
s_0	0,0427	0,00940	25,73	0,000143	1,238	0,11
v_k	0,1403	0,1403	0,273	0,254	0,209	0,00107
s^2	1,8E-03	8,9E-05	6,7E+02	2,1E-08	1,5E+00	1,1E-02
x_{MIN}	0,2195	0,0483	26,13	0,000277	4,00	99,20
x_{MAX}	0,3967	0,08728	146,25	0,000893	8,88	99,59
IS d	0,2927	0,06438	87,23	0,000522	5,59	99,38
IS h	0,3163	0,06960	101,49	0,000601	6,28	99,44

Tab. 5 – Naměřené a dpočítané hodnoty vlákna typ č. 2 z přístroje Lab Test

Vlakno2						
PP ASOTA VLÁKNO 2,2 dtex / 50 mm						
Rychlost posuvu příčnicku $v_1 = 100$ mm/min						
i	R	P	ε	W	t	v
[-]	[N/tex]	[N]	[%]	[J]	[sec]	[mm/min]
1	0,3078	0,06772	39,47	0,000237	2,86	98,87
2	0,2400	0,05281	42,46	0,000243	3,52	99,07
3	0,2279	0,05013	26,8	0,000217	3,2	98,98
4	0,2711	0,05965	33,15	0,000292	3,54	99,11
5	0,3103	0,06827	33,8	0,000407	4,3	99,23
6	0,2116	0,04655	24,14	0,00018	2,96	98,92
7	0,2365	0,05204	34,81	0,000202	3,02	98,95
8	0,2397	0,05274	23,8	0,000335	4,54	99,27
9	0,2641	0,0581	35,48	0,00042	5,14	99,37
10	0,2202	0,04845	29,14	0,000476	6,68	99,5
11	0,2866	0,06305	46,48	0,000239	3,12	98,99
12	0,2168	0,0477	24,16	0,000184	2,9	98,93
13	0,2363	0,05199	30,48	0,000317	4,38	99,27
14	0,2202	0,04844	31,13	0,000198	3,12	98,96
15	0,2458	0,05408	37,47	0,000308	4,24	99,23
16	0,2232	0,0491	32,82	0,000402	5,66	99,43
17	0,2408	0,05298	33,48	0,000439	5,72	99,43
18	0,2720	0,05983	43,47	0,000259	3,48	99,07
19	0,2675	0,05884	48,13	0,000322	4,04	99,18
20	0,2056	0,04523	22,8	0,000201	3,24	98,99
21	0,3244	0,07137	45,81	0,000343	3,68	99,14
22	0,3295	0,0725	32,47	0,000354	3,58	99,09
23	0,2558	0,05627	31,8	0,00035	4,44	99,26
24	0,2638	0,05804	36,83	0,00045	5,58	99,44
25	0,1931	0,04248	29,48	0,000351	5,7	99,44
26	0,3121	0,06866	34,48	0,000261	2,94	98,95
27	0,2007	0,04416	39,81	0,000189	3,32	99,06
28	0,2454	0,05399	37,48	0,000202	2,88	98,92
29	0,2442	0,05372	39,49	0,000396	5,1	99,38
30	0,2741	0,06031	37,47	0,000403	4,78	99,33
31	0,2884	0,06345	36,83	0,000276	3,34	99,1
32	0,2170	0,04773	29,83	0,000181	2,96	98,99
33	0,2570	0,05653	38,49	0,000291	3,82	99,19
34	0,1955	0,04301	30,15	0,000233	3,88	99,2
35	0,2436	0,05359	33,83	0,000204	2,94	98,96
36	0,2965	0,06523	34,83	0,000615	6,38	99,51
37	0,2369	0,05212	36,14	0,000481	6,36	99,48
38	0,1879	0,04134	25,16	0,000171	3,06	98,98
39	0,2073	0,04561	46,15	0,000182	3,14	99,01
40	0,2434	0,05355	25,82	0,000211	2,96	98,95
41	0,2656	0,05844	33,81	0,00052	6,12	99,46
42	0,2225	0,04896	37,82	0,000176	2,92	98,93
43	0,2073	0,04561	46,15	0,000182	3,14	99,01
44	0,2225	0,04896	37,82	0,000176	2,92	98,93
45	0,2638	0,05804	36,83	0,00045	5,58	99,44
46	0,2232	0,0491	32,82	0,000402	5,66	99,43
47	0,3436	0,0756	44,87	0,000359	3,56	99,24
48	0,3825	0,08416	40,51	0,000428	3,72	99,21
49	0,2299	0,05058	30,83	0,000205	3,04	99,01
50	0,2543	0,05595	30,49	0,000249	3,22	99,06
51	0,2781	0,06118	43,21	0,000486	5,52	99,57
52	0,2834	0,06235	31,51	0,000265	3,22	99,1
53	0,2513	0,05528	30,83	0,000418	5,3	99,44
54	0,2749	0,06047	59,21	0,000419	4,84	99,46

55	0,2947	0,06483	45,21	0,000399	4,52	99,43
56	0,1872	0,04119	57,96	0,000237	4,08	99,47
57	0,2722	0,05989	33,87	0,000236	3,1	99,12
58	0,1623	0,03571	31,28	0,00035	6,64	98,89
59	0,1847	0,04063	48,98	0,000234	4,34	98,95
60	0,1925	0,04234	57,51	0,000216	3,74	98,65
61	0,2377	0,0523	29,66	0,000372	5,12	98,89
62	0,3085	0,06787	44,64	0,000635	6,46	99,16
63	0,2795	0,06149	41,31	0,000256	3,32	98,65
64	0,2104	0,04629	25,35	0,000248	3,8	98,78
65	0,2293	0,05045	40,69	0,000343	4,92	99,09
66	0,1509	0,03319	26,69	0,000144	3,2	98,64
67	0,2349	0,05168	48,33	0,000193	2,98	98,65
68	0,1802	0,03965	31,35	0,0002	3,64	98,74
69	0,3216	0,07076	39,33	0,000269	3,08	98,62
70	0,3128	0,06882	38,59	0,000233	2,86	98,34
71	0,2354	0,05178	40,29	0,000472	6,14	99,07
72	0,2756	0,06064	30,26	0,000225	2,88	98,24
73	0,2598	0,05715	54,17	0,000364	4,64	98,74
74	0,2264	0,0498	28,28	0,000297	4,36	98,66
75	0,2459	0,0541	30,22	0,000313	4,2	98,5
76	0,3126	0,06877	37,19	0,000267	3,04	98,23
77	0,2621	0,05766	41,27	0,000333	4,28	98,8
78	0,3105	0,0683	40,36	0,000516	5,22	99,13
79	0,3103	0,06827	31,05	0,000331	3,6	98,84
80	0,2993	0,06584	55,74	0,000471	5,42	99,31
81	0,2348	0,05166	51,76	0,000332	4,72	99,24
82	0,2669	0,05872	53,41	0,000353	4,52	99,19
83	0,2359	0,0519	41,4	0,000181	2,84	98,73
84	0,2962	0,06516	44,13	0,000555	6,06	99,44
85	0,1876	0,04128	39,45	0,00015	2,92	98,86
86	0,2332	0,05131	45,11	0,00034	4,86	99,28
87	0,2010	0,04421	29,11	0,000174	3,06	98,87
88	0,2324	0,05112	25,47	0,000282	3,96	99,17
89	0,3086	0,0679	35,15	0,000428	4,48	99,28
90	0,3100	0,06821	37,8	0,000419	4,46	99,26
91	0,2293	0,05045	32,47	0,00039	5,48	99,39
92	0,2206	0,04853	29,15	0,000439	6,16	99,47
93	0,3057	0,06725	42,81	0,000494	5,28	99,38
94	0,2282	0,05021	32,8	0,000374	5,28	99,36
95	0,2355	0,05181	47,8	0,000198	3,24	99
96	0,2251	0,04953	33,15	0,000215	3,32	99,04
97	0,2220	0,04883	36,81	0,000222	3,42	99,07
98	0,2350	0,0517	54,45	0,000291	4,18	99,2
99	0,2446	0,05381	34,81	0,000298	4,06	99,21
100	0,3226	0,07098	40,48	0,000264	3,12	98,98
$\bar{x}$	0,2514	0,05530	37,30	0,000313	4,14	99,08
s_0	0,0429	0,00943	8,247	0,000110	1,10	0,2830
v_k	0,1705	0,1705	0,2211	0,3527	0,2663	0,00286
s^2	0,00186	8,98E-05	68,70	1,23E-08	1,229	0,08090
x_{MIN}	0,1509	0,03319	22,80	0,000144	2,840	98,23
x_{MAX}	0,3825	0,08416	59,21	0,000635	6,680	99,57
IS d	0,2395	0,05269	35,01	0,000282	3,837	99,01
IS h	0,2632	0,05791	39,58	0,000344	4,448	99,16

Tab. 6 – Naměřené a dypočítané hodnoty vlákna typ č. 1 z přístroje Lab Test

Vlákno1a						
PP VLÁKNO TREVON 2,2 dtex / 50 mm						
Rychlost posuvu příčnicku $v_2 = 40$ mm/min						
i	R	P	ε	W	t	v
[-]	[N/tex]	[N]	[%]	[J]	[sec]	[mm/min]
1	0,2839	0,06245	135,13	0,000735	21,52	38,61
2	0,3922	0,08628	122,81	0,000904	19,32	38,66
3	0,2695	0,05929	103,71	0,000564	16,74	38,65
4	0,1976	0,04348	50,41	0,00019	8,1	38,58
5	0,2745	0,0604	116,57	0,000609	18,3	38,69
6	0,3234	0,07115	137,86	0,000839	21,42	38,69
7	0,3320	0,07305	120,66	0,000752	18,94	38,67
8	0,2895	0,0637	63,18	0,000358	9,86	38,61
9	0,3100	0,06821	114,2	0,000674	17,82	38,71
10	0,2136	0,04699	122,91	0,000488	19,24	38,73
11	0,2882	0,06341	89,39	0,000497	14,22	38,7
12	0,2295	0,0505	81,45	0,000357	12,74	38,73
13	0,2443	0,05375	131,34	0,000613	20,9	38,74
14	0,2487	0,05471	103,2	0,000485	16	38,75
15	0,2709	0,0596	99,13	0,000489	15,42	38,72
16	0,2748	0,06046	49,44	0,000251	8	38,63
17	0,2663	0,05858	30,05	0,000152	5,3	38,56
18	0,2464	0,05421	133,13	0,000633	21,52	38,74
19	0,3335	0,07336	117,37	0,000734	18,4	38,74
20	0,2700	0,05941	99,6	0,000523	15,96	38,76
21	0,3225	0,07094	135,99	0,000799	21,1	38,74
22	0,2798	0,06156	121,71	0,000629	18,86	38,8
23	0,3366	0,07405	88,15	0,000562	13,76	38,78
24	0,3163	0,06958	138,58	0,000801	21,46	38,89
25	0,2998	0,06595	29,89	0,000128	4,66	38,65
26	0,2807	0,06175	47,05	0,000284	9,18	38,71
27	0,2792	0,06143	168,06	0,000852	26,14	38,9
28	0,2779	0,06113	125,13	0,000651	19,72	38,9
29	0,2949	0,06487	137,17	0,000741	21,34	38,97
30	0,2570	0,05653	75,05	0,000368	11,9	38,89
31	0,3632	0,07991	93,42	0,000644	14,66	38,87
32	0,3176	0,06988	94,85	0,000544	14,66	38,93
33	0,2834	0,06235	46	0,000229	7,12	38,87
34	0,2827	0,0622	80,31	0,000412	12,52	38,92
35	0,2260	0,04971	60,49	0,000255	9,6	38,86
36	0,3987	0,08772	98,32	0,000725	15,3	38,91
37	0,2939	0,06466	129,14	0,000716	19,88	39,01
38	0,2206	0,04853	62,41	0,000256	9,92	38,85
39	0,2595	0,0571	74,54	0,00037	11,48	38,96
40	0,2845	0,06259	97,34	0,000523	15,22	39,14
41	0,3054	0,06718	34,35	0,000378	10,28	39,17
42	0,2699	0,05938	122,99	0,00063	19,22	39,09
43	0,3485	0,07668	106,56	0,000699	16,64	38,94
44	0,2833	0,06233	116,34	0,00061	17,94	39
45	0,2741	0,0603	121,45	0,00061	18,82	39,01
46	0,2609	0,0574	56,47	0,000273	8,92	38,86
47	0,3975	0,08746	131,14	0,000994	20,62	38,84
48	0,3571	0,07856	107,15	0,000705	16,54	38,96
49	0,3214	0,0707	118,85	0,000686	18,24	39,18
50	0,3591	0,07901	94,71	0,000652	14,58	39,08
51	0,2936	0,0646	84,21	0,000451	12,94	39,11
52	0,3152	0,06935	108,34	0,000652	16,94	39,26
53	0,2508	0,05517	93,6	0,000448	14,58	39,11
54	0,3179	0,06994	131,44	0,000775	20,26	39,16

55	0,2961	0,06514	108,03	0,00061	16,88	39
56	0,2313	0,05089	94,58	0,000421	14,96	39,03
57	0,3281	0,07219	144,58	0,000891	22,5	38,93
58	0,3021	0,06646	125,56	0,000697	19,38	38,91
59	0,2911	0,06404	136,46	0,000713	21,14	38,84
60	0,2351	0,05173	81,96	0,000359	12,88	38,78
61	0,3346	0,07361	158,13	0,000977	24,64	38,85
62	0,2224	0,04892	23,87	0,000214	8,1	38,72
63	0,2190	0,04817	83,69	0,000341	13,22	38,93
64	0,2524	0,05552	114,72	0,00054	18,06	38,89
65	0,2679	0,05894	111,48	0,000567	17,34	39,03
66	0,2692	0,05922	104,96	0,000553	16,2	38,97
67	0,2885	0,06348	119,19	0,000629	18,44	38,99
68	0,3293	0,07245	140,22	0,000868	21,88	39,02
69	0,2743	0,06035	90,44	0,000467	13,96	38,98
70	0,2375	0,05225	47,68	0,000194	7,42	38,87
71	0,3268	0,0719	135,69	0,000823	20,96	39,1
72	0,3409	0,075	117,84	0,000743	18,14	39,1
73	0,2929	0,06443	106,84	0,000599	16,76	39,14
74	0,3566	0,07846	63,84	0,000427	10,36	39,17
75	0,1916	0,04215	73,02	0,000269	11,36	39,12
76	0,2875	0,06325	96,72	0,000513	14,9	39,1
77	0,2537	0,05582	96,22	0,000476	15,06	39,17
78	0,2738	0,06024	89,8	0,000471	14	39,1
79	0,2988	0,06573	94,71	0,000524	14,54	39,19
80	0,3396	0,07471	35,9	0,000307	7,96	38,97
81	0,2844	0,06256	123,38	0,000671	19,24	39,17
82	0,2571	0,05657	117,77	0,000568	18,02	39,34
83	0,3196	0,07032	73,41	0,000429	11,3	39,26
84	0,2445	0,05379	32,13	0,000152	5,66	39,07
85	0,3546	0,07801	149,73	0,000975	23,08	39,23
86	0,2419	0,05322	79,96	0,000356	12,3	39,13
87	0,3093	0,06804	130,24	0,000749	20,02	39,35
88	0,3192	0,07022	135,89	0,000815	20,84	39,27
89	0,2291	0,05041	121,68	0,000528	18,94	39,17
90	0,3415	0,07512	131,72	0,000848	20,46	39,16
91	0,3396	0,07472	42,64	0,000381	9,94	39,07
92	0,3397	0,07473	112,4	0,000704	17,3	39,21
93	0,2689	0,05916	132,06	0,000687	20,62	39,3
94	0,2186	0,04809	151,31	0,000624	23,38	39,27
95	0,3667	0,08067	106,54	0,000764	16,9	39,17
96	0,2382	0,0524	109,35	0,000508	17,16	39,19
97	0,2521	0,05546	131,4	0,000607	20,16	39,19
98	0,2648	0,05825	88,42	0,000437	13,58	39,12
99	0,2768	0,0609	139,17	0,000703	21,28	39,28
100	0,2661	0,05855	69,6	0,000345	10,64	39,32
$\bar{x}$	0,2886	0,06350	101,3	0,000559	15,97	38,96
s_0	0,04401	0,00968	32,49	2,03E-04	4,712	0,2033
v_k	0,1525	0,1525	0,3208	0,3628	0,2951	0,00522
s^2	0,00196	9,47E-05	1066	4,16E-08	22,43	0,04173
x_{MIN}	0,1916	0,04215	23,87	0,000128	4,66	38,56
x_{MAX}	0,3987	0,08772	168,06	0,000994	26,14	39,35
IS d	0,2764	0,06081	92,27	0,000503	14,66	38,91
IS h	0,3008	0,06618	110,28	0,000616	17,27	39,02

Tab. 7 – Naměřené a dopočítané hodnoty vlákna typ č. 2 z přístroje Lab Test

Vlákno2a						
PP ASOTA 2,2 dtex / 50 mm						
Rychlost posuvu příčnicku $v_2 = 40$ mm/min						
i	R	P	ϵ	W	t	v
[-]	[N/tex]	[N]	[%]	[J]	[sec]	[mm/min]
1	0,2685	0,05907	36,22	0,00019	6,64	39,69
2	0,1939	0,04266	29,29	0,000155	7,06	39,69
3	0,2234	0,04915	36,47	0,000263	9,7	39,74
4	0,2805	0,0617	37,13	0,000399	11,66	39,76
5	0,2608	0,05737	29,17	0,00024	7,96	39,72
6	0,1161	0,02554	26,1	0,00006	4,9	39,61
7	0,1551	0,03413	26,09	0,000072	4,6	39,58
8	0,1540	0,03389	29,96	0,000094	5,46	39,65
9	0,2892	0,06362	32,76	0,000181	5,96	39,67
10	0,4110	0,09041	40,05	0,000267	6,52	39,67
11	0,2656	0,05844	39,79	0,00047	13,92	39,78
12	0,2885	0,06347	31,41	0,000472	12,9	39,77
13	0,2618	0,0576	42,96	0,000358	11,58	39,75
14	0,1954	0,04299	35,13	0,000191	8,24	39,71
15	0,1621	0,03566	23,58	0,000062	3,76	39,54
16	0,2364	0,052	33,14	0,000187	7,26	39,69
17	0,2105	0,0463	31,95	0,000256	9,86	39,74
18	0,2512	0,05527	36,87	0,000228	7,96	39,71
19	0,1947	0,04283	30,62	0,000087	4,76	39,61
20	0,1558	0,03427	42,72	0,000126	6,9	39,69
21	0,2205	0,04852	37,13	0,000408	14,76	39,78
22	0,2572	0,05658	37,25	0,000299	9,84	39,73
23	0,2392	0,05262	37,42	0,000397	13,18	39,79
24	0,2145	0,04718	24,91	0,000287	10,64	39,76
25	0,1330	0,02925	25,06	0,000062	4,52	39,61
26	0,2255	0,04961	31,16	0,000119	5,08	39,63
27	0,1962	0,04316	24,12	0,000202	8,72	39,73
28	0,2098	0,04616	25,71	0,00014	6,1	39,67
29	0,3177	0,0699	39	0,000246	7	39,69
30	0,2481	0,05459	35,28	0,000342	11,18	39,76
31	0,2495	0,0549	31,16	0,000407	13	39,78
32	0,3565	0,07844	43,11	0,000383	9,22	39,73
33	0,3343	0,07355	46,31	0,000347	9,32	39,74
34	0,2619	0,05762	29,54	0,000385	12,14	39,75
35	0,3027	0,06659	52,02	0,00035	9,44	39,73
36	0,2314	0,0509	36,47	0,000238	8,82	39,73
37	0,3122	0,06869	25,31	0,00019	5,44	39,65
38	0,3349	0,07367	29,67	0,000336	8,34	39,7
39	0,2486	0,05469	30,35	0,00032	10,2	39,75
40	0,2620	0,05765	51,23	0,000332	10,38	39,75
41	0,2407	0,05296	26,89	0,000308	10,2	39,74
42	0,2615	0,05752	31,28	0,000535	15,72	39,79
43	0,3225	0,07095	28,36	0,000454	11,24	39,75
44	0,2709	0,0596	33,81	0,000148	5,52	39,63
45	0,3007	0,06615	42,05	0,000529	14,2	39,78
46	0,3008	0,06618	47,1	0,000253	7,66	39,7
47	0,2777	0,0611	26,89	0,000193	6,1	39,65
48	0,2398	0,05276	51,21	0,000224	7,92	39,7
49	0,2895	0,06368	29,39	0,000338	9,56	39,71
50	0,2525	0,05554	32,32	0,0002	7,02	39,66
51	0,2705	0,05951	36,44	0,000249	8,16	39,69
52	0,2823	0,06211	25,03	0,000278	8,24	39,7
53	0,3328	0,07322	39,9	0,000519	12,4	39,75
54	0,2272	0,04998	40,19	0,000281	10,32	39,74

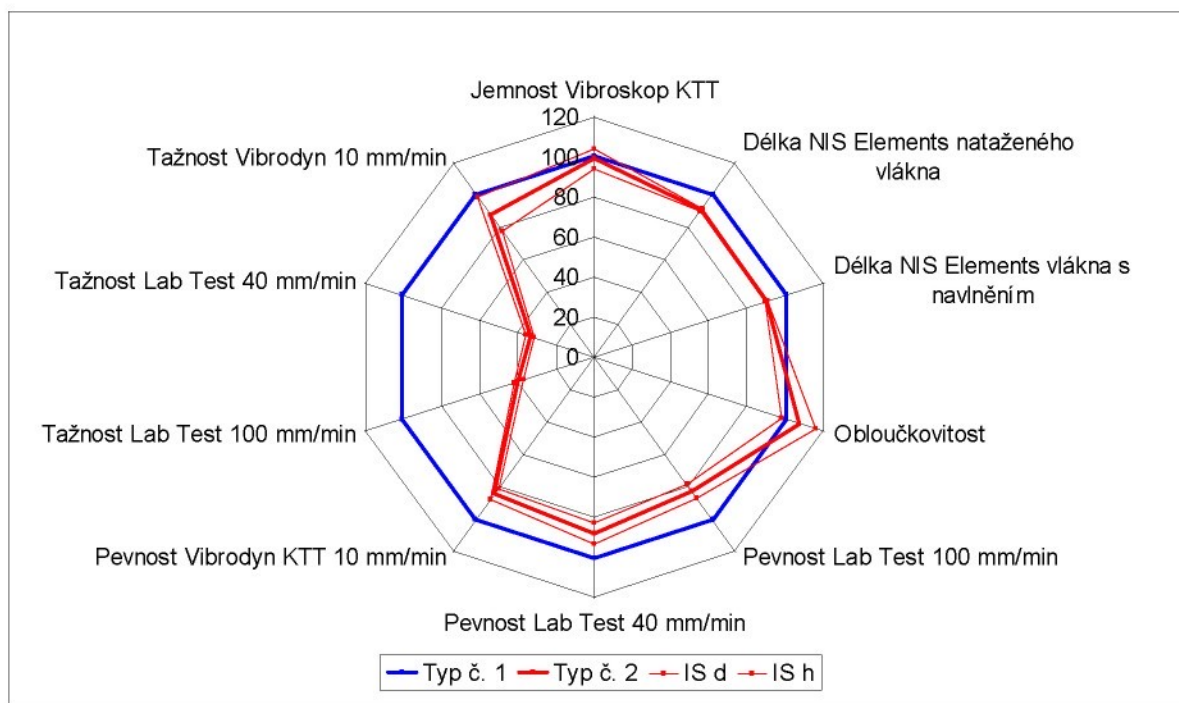
55	0,3708	0,08157	38,85	0,000251	6,6	39,66
56	0,3106	0,06834	31,79	0,000239	6,76	39,66
57	0,2954	0,06498	43,35	0,000331	9,68	39,72
58	0,2529	0,05563	30,85	0,000136	5,24	39,58
59	0,1818	0,03999	51,15	0,000171	8,02	39,66
60	0,2584	0,05685	39,94	0,000232	8,28	39,59
61	0,1681	0,03698	30,57	0,00012	6,26	39,6
62	0,2470	0,05434	30,82	0,000341	11,38	39,68
63	0,3690	0,08118	38,87	0,000266	6,82	39,56
64	0,1765	0,03882	28,15	0,000139	6,98	39,59
65	0,1929	0,04243	25,23	0,000196	8,38	39,64
66	0,2252	0,04954	20,61	0,000303	10,82	39,69
67	0,2088	0,04594	29	0,000096	4,74	39,57
68	0,2510	0,05523	26,07	0,000191	6,7	39,63
69	0,2440	0,05369	31,78	0,000391	12,56	39,72
70	0,3302	0,07264	39,89	0,000452	11,54	39,72
71	0,3010	0,06623	37,89	0,00018	6,06	39,61
72	0,2408	0,05298	25,94	0,000168	6,26	39,63
73	0,2837	0,06241	38,03	0,000265	7,9	39,68
74	0,2382	0,0524	27,4	0,000179	6,58	39,64
75	0,2496	0,05491	27,78	0,00019	6,54	39,62
76	0,3247	0,07144	42,43	0,00046	11,56	39,75
77	0,3257	0,07166	34,07	0,000288	7,88	39,7
78	0,2854	0,06279	39,8	0,000591	16,26	39,79
79	0,3145	0,06919	35,26	0,000257	7,32	39,69
80	0,3345	0,07359	26,49	0,000197	5,48	39,62
81	0,2842	0,06253	35,14	0,000512	14	39,78
82	0,1690	0,03718	26,07	0,000168	8,08	39,68
83	0,2545	0,056	41,37	0,00019	7,14	39,68
84	0,1800	0,03961	35,25	0,000208	9,86	39,72
85	0,2830	0,06225	30,2	0,000164	5,26	39,61
86	0,2208	0,04857	24,77	0,000315	11,14	39,75
87	0,2781	0,06118	42,17	0,00057	16,12	39,78
88	0,2470	0,05434	32,74	0,000348	11,3	39,75
89	0,3503	0,07707	30,89	0,000291	7,14	39,69
90	0,1926	0,04237	30,22	0,000104	5,34	39,63
91	0,3139	0,06905	32,59	0,000198	5,86	39,63
92	0,1864	0,041	31,93	0,000156	7,18	39,68
93	0,2010	0,04423	33	0,000332	13,06	39,77
94	0,1575	0,03464	26,22	0,000078	4,84	39,59
95	0,2483	0,05463	34,99	0,00017	6,56	39,66
96	0,2639	0,05805	30,6	0,000289	8,92	39,71
97	0,2313	0,05088	33,33	0,000369	12,92	39,52
98	0,1944	0,04277	35,86	0,000274	11,68	39,69
99	0,2448	0,05385	48,98	0,000308	11,06	39,64
100	0,2528	0,05562	34,7	0,000233	8,34	39,53
$\bar{x}$	0,2533	0,05573	33,98	0,000266	8,78	39,69
s_0	0,05636	0,01240	6,861	1,22E-04	2,916	0,0646
v_k	0,2225	0,2225	0,2020	0,4576	0,3323	0,00163
s^2	0,00321	1,55E-04	47,55	1,49E-08	8,591	0,00421
x_{MIN}	0,1161	0,02554	20,61	0,000060	3,76	39,52
x_{MAX}	0,4110	0,09041	52,02	0,000591	16,26	39,79
IS d	0,2377	0,05230	32,07	0,000232	7,967	39,67
IS h	0,2690	0,05917	35,88	0,000299	9,584	39,71

Tab. 8 – Naměřené a dopočítané hodnoty vláken typ č. 1 a typ č. 2 z přístroje Vibroskop a Vibrodyn

Typ č. 1					Typ č. 2				
Poř. č.	T [dtex]	P [cN]	ε [%]	R [cN/tex]	Poř. č.	T [dtex]	P [cN]	ε [%]	R [cN/tex]
1	2,40	9,47	86,80	39,46	1	1,94	6,2	36,2	31,96
2	2,42	8,88	50,30	36,69	2	2,55	8,53	25,4	33,45
3	1,95	7,83	84,50	40,15	3	2,17	6,86	47,5	31,61
4	2,48	9,04	61,70	36,45	4	1,92	5,84	81,2	30,42
5	2,32	8,07	62,70	34,78	5	1,85	5,71	48	30,86
6	2,30	9,03	49,00	39,26	6	2,01	6,2	64,3	30,85
7	2,47	7,79	32,90	31,54	7	1,93	6,16	44	31,92
8	1,90	6,59	24,90	34,68	8	2,16	6,52	30,2	30,19
9	1,93	7,84	92,80	40,62	9	2,42	8,05	42,9	33,26
10	1,67	6,15	47,00	36,83	10	2,3	7,07	43,4	30,74
11	2,03	6,21	36,70	30,59	11	2,4	7,4	63,7	30,83
12	2,24	8,04	99,90	35,89	12	2,85	7,61	43,4	26,7
13	2,46	9,11	115,20	37,03	13	2,27	7,15	32,4	31,5
14	2,29	7,60	32,50	33,19	14	1,7	5,27	34,4	31
15	2,68	7,46	24,20	27,84	15	2,47	7,49	85,6	30,32
16	2,26	8,35	75,80	36,95	16	1,59	5,62	63,3	35,35
17	2,49	8,47	75,60	34,02	17	1,7	5,93	31,5	34,88
18	2,63	6,57	57,80	24,98	18	2,29	7,42	32,4	32,4
19	2,25	7,97	85,90	35,42	19	1,7	5,92	51	34,82
20	2,60	9,04	86,90	34,77	20	2,66	8,08	35	30,38
21	1,98	7,54	63,00	38,08	21	2,75	7,68	74,3	27,93
22	1,91	6,90	90,30	36,13	22	2,27	7,09	103,4	31,23
23	2,30	6,57	91,40	28,57	23	2,1	6,49	127,5	30,9
24	1,88	7,67	82,30	40,80	24	2,11	5,95	63,5	28,2
25	2,02	7,90	46,30	39,11	25	2,57	6,42	53,3	24,98
26	2,59	8,50	89,30	32,82	26	2,81	8,34	78,3	29,68
27	2,29	7,86	77,50	34,32	27	2,72	7,69	106,7	28,27
28	2,60	8,85	79,10	34,04	28	3,15	9,26	45	29,4
29	2,18	7,92	39,20	36,33	29	2,2	6,08	87,4	27,64
30	2,52	8,31	73,30	32,98	30	2,05	6,67	100,4	32,54
31	2,58	9,40	55,50	36,43	31	2,38	7,01	51,2	29,45
32	2,39	8,91	90,60	37,28	32	2,98	9,71	59,8	32,58
33	2,00	8,27	71,10	41,35	33	1,71	5,4	103,1	31,58
34	2,42	8,89	71,60	36,74	34	2,53	6,31	53	24,94
35	2,25	8,72	52,80	38,76	35	2,5	7,58	40,4	30,32
36	2,52	9,49	99,10	37,66	36	2,26	7,25	33,7	32,08
37	1,98	7,85	35,40	39,65	37	2,94	8,63	47	29,35
38	2,27	8,86	84,50	39,03	38	2,41	8,06	29,7	33,44
39	2,05	7,84	71,80	38,24	39	2,92	8,49	113,9	29,08
40	2,26	8,28	91,90	36,64	40	1,89	5,92	101,3	31,32
41	2,24	7,25	50,00	32,37	41	2,1	6,15	78,6	29,29
42	2,42	7,84	47,00	32,40	42	2,01	7,15	31,9	35,57
43	2,48	8,89	80,00	35,85	43	1,86	5,96	63,7	32,04
44	2,32	7,81	54,70	33,66	44	2,18	6,62	55,2	30,37
45	2,13	7,62	97,90	35,77	45	2,05	5,75	60,2	28,05
46	2,29	8,77	72,50	38,30	46	2,31	7,03	93,4	30,43
47	2,17	8,61	82,00	39,68	47	1,56	5,29	50,5	33,91
48	2,35	8,41	59,20	35,79	48	1,63	5,53	67,8	33,93
49	2,36	8,05	50,50	34,11	49	2,01	5,97	40	29,7
50	2,61	10,41	87,30	39,89	50	2,52	7,3	53	28,97
$\bar{x}$	2,28260	8,154	68,40	35,87840	$\bar{x}$	2,24720	6,876	60,06	30,81220
s_0	0,23355	0,874	21,84	3,39023	s_0	0,39296	1,054	25,44	2,34499
v_k	0,10232	0,107	0,32	0,09449	v_k	0,17487	0,153	0,42	0,07611
s^2	5,57E-02	0,780	486,53	1,17E+01	s^2	1,58E-01	1,133	660,56	5,61E+00

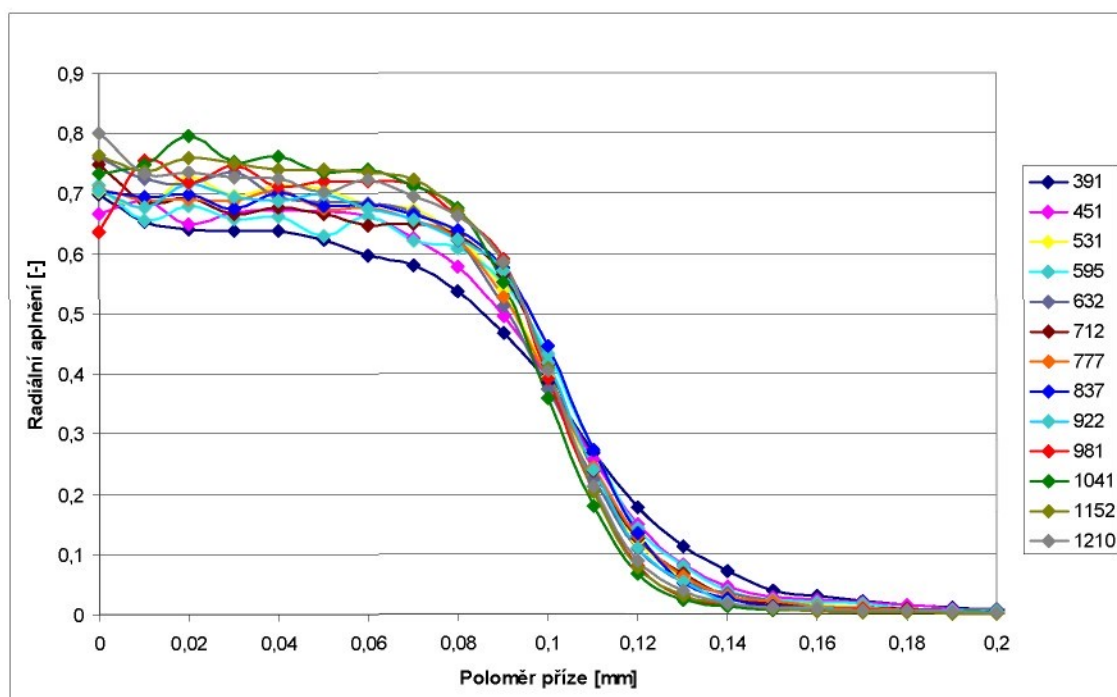
x_{MIN}	1,67000	6,150	24,20	24,98000
x_{MAX}	2,68000	10,410	115,20	41,35000
IS d	2,21786	7,912	62,35	34,93869
IS h	2,34734	8,396	74,46	36,81811

x_{MIN}	1,56000	5,270	25,40	24,94000
x_{MAX}	3,15000	9,710	127,50	35,57000
IS d	2,13828	6,584	53,01	30,16221
IS h	2,35612	7,168	67,11	31,46219

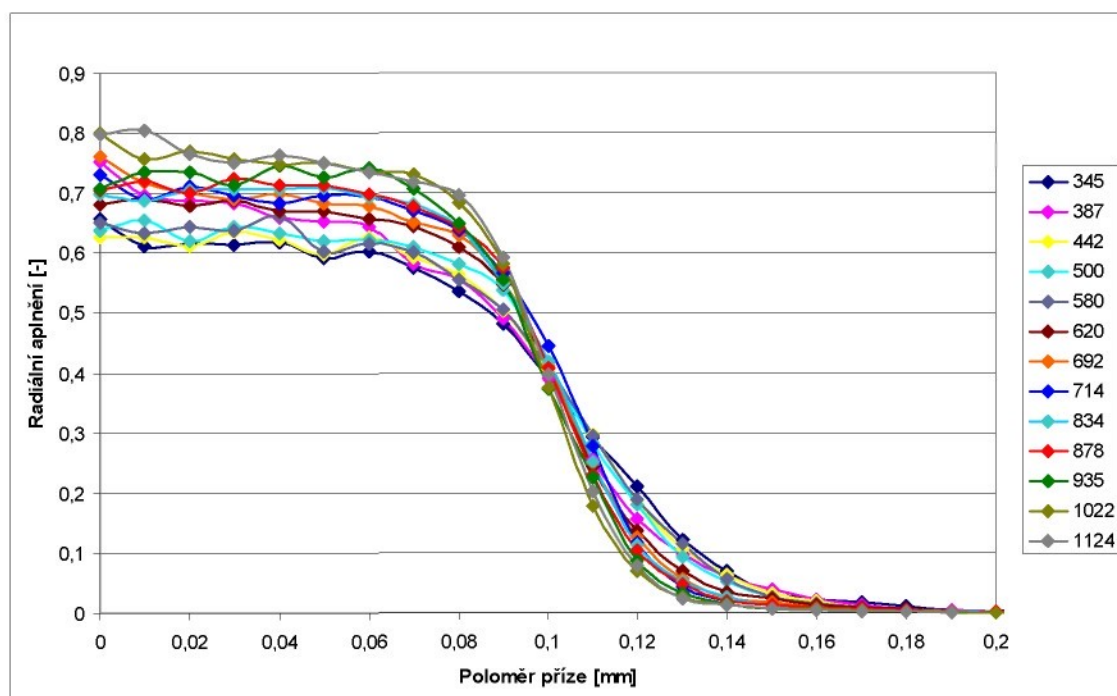


Obr. 4 – Porovnání naměřených vlastností – jemnost, délka, obloučkovitost, pevnost, tažnost obou typů vláken s 95 % IS

Příloha č. 2 – Příze



Obr. 5 – Radiální zaplnění přízí ZS1



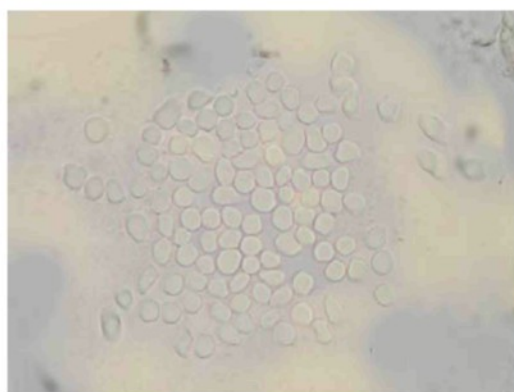
Obr. 6 – Radiální zaplnění přízí ZS2

Tab. 9 – Hodnoty počtu vláken, koeficientu počtu vláken, efektivního zaplnění a efektivního průměru příze získané s programu příze ZS1 a ZS2

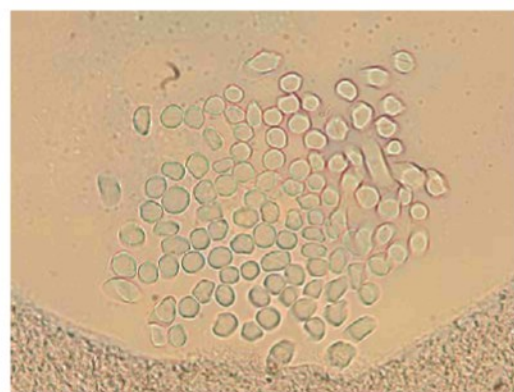
ZS1				
Poř. č.	n [-]	k_n [-]	μ_{ef} [-]	D_{ef} [mm]
1	101 <96 ; 105>	0,8813 <0,8420 ; 0,9209>	0,5066 <0,4892 ; 0,5241>	0,2467 <0,2385 ; 0,2549>
2	103 <97 ; 108>	0,8904 <0,8453 ; 0,9355>	0,5915 <0,5685 ; 0,6145>	0,2281 <0,2101 ; 0,2460>
3	100 <94 ; 105>	0,8588 <0,8135 ; 0,9041>	0,6006 <0,5744 ; 0,6268>	0,2321 <0,2247 ; 0,2396>
4	105 <100 ; 110>	0,8993 <0,8544 ; 0,9442>	0,5708 <0,5500 ; 0,5915>	0,2381 <0,2307 ; 0,2456>
5	100 <94 ; 106>	0,8744 <0,8249 ; 0,9239>	0,6007 <0,5751 ; 0,6263>	0,2293 <0,2208 ; 0,2378>
6	106 <101 ; 111>	0,9193 <0,8734 ; 0,9653>	0,5842 <0,5637 ; 0,6047>	0,2346 <0,2270 ; 0,2422>
7	104 <98 ; 110>	0,9095 <0,8529 ; 0,9661>	0,5965 <0,5657 ; 0,6274>	0,2313 <0,2222 ; 0,2405>
8	106 <100 ; 111>	0,9069 <0,8589 ; 0,9549>	0,6154 <0,5875 ; 0,6432>	0,2325 <0,2253 ; 0,2379>
9	100 <95 ; 105>	0,8696 <0,8274 ; 0,9118>	0,6075 <0,5843 ; 0,6307>	0,2308 <0,2237 ; 0,2378>
10	99 <94 ; 104>	0,8629 <0,8168 ; 0,9090>	0,6582 <0,6270 ; 0,6894>	0,2230 <0,2164 ; 0,2295>
11	96 <91 ; 100>	0,8444 <0,8050 ; 0,8839>	0,6635 <0,6370 ; 0,6901>	0,2213 <0,2145 ; 0,2282>
12	96 <92 ; 101>	0,8381 <0,7988 ; 0,8774>	0,6685 <0,6402 ; 0,6968>	0,2232 <0,2157 ; 0,2307>
13	99 <94 ; 104>	0,8613 <0,8173 ; 0,9054>	0,6498 <0,6191 ; 0,6804>	0,2249 <0,2179 ; 0,2319>
ZS2				
Poř. č.	n [-]	k_n [-]	μ_{ef} [-]	D_{ef} [mm]
1	110 <106 ; 114>	0,9573 <0,9203 ; 0,9943>	0,5012 <0,4845 ; 0,5179>	0,2505 <0,2435 ; 0,2575>
2	104 <100 ; 108>	0,9045 <0,8707 ; 0,9382>	0,5365 <0,5200 ; 0,5529>	0,2416 <0,2342 ; 0,2490>
3	106 <102 ; 110>	0,9217 <0,8891 ; 0,9542>	0,5468 <0,5313 ; 0,5623>	0,2391 <0,2210 ; 0,2573>
4	107 <103 ; 112>	0,9375 <0,8999 ; 0,9752>	0,5637 <0,5481 ; 0,5793>	0,2369 <0,2184 ; 0,2554>
5	103 <99 ; 108>	0,8948 <0,8497 ; 0,9399>	0,5231 <0,5039 ; 0,5424>	0,2475 <0,2387 ; 0,2564>
6	107 <103 ; 112>	0,9329 <0,8926 ; 0,9732>	0,574 <0,5550 ; 0,5931>	0,2365 <0,2297 ; 0,2433>
7	106 <101 ; 111>	0,9205 <0,8764 ; 0,9646>	0,6061 <0,5823 ; 0,6299>	0,2311 <0,2238 ; 0,2384>
8	106 <102 ; 110>	0,9084 <0,8747 ; 0,9421>	0,6092 <0,5894 ; 0,6290>	0,2341 <0,2282 ; 0,2401>
9	105 <100 ; 110>	0,9049 <0,8606 ; 0,9492>	0,6215 <0,5955 ; 0,6475>	0,2296 <0,2223 ; 0,2368>
10	107 <102 ; 112>	0,9236 <0,8767 ; 0,9706>	0,6239 <0,5980 ; 0,6497>	0,2289 <0,2213 ; 0,2366>
11	95 <90 ; 100>	0,8292 <0,7822 ; 0,8762>	0,6434 <0,6114 ; 0,6755>	0,2254 <0,2180 ; 0,2327>
12	98 <93 ; 103>	0,8492 <0,8051 ; 0,8933>	0,6718 <0,6428 ; 0,7007>	0,2216 <0,2142 ; 0,2290>
13	100 <95 ; 104>	0,8500 <0,8142 ; 0,8858>	0,6685 <0,6413 ; 0,6957>	0,2246 <0,2184 ; 0,2308>

Tab. 10 – Poloměr a radiální zaplnění příze č. 1 a č. 2 ZS2

Příze č. 1 $Z = 345 \text{ m}^{-1}$				Příze č. 2 $Z = 387 \text{ m}^{-1}$			
r [mm]	μ_k [-]	IS d [-]	IS h [-]	r [mm]	μ_k [-]	IS d [-]	IS h [-]
0	0,6577267	6,00E-01	7,15E-01	0	0,7532555	6,86E-01	8,21E-01
1,00E-02	0,6110224	5,63E-01	6,59E-01	1,00E-02	0,69684758	6,58E-01	7,36E-01
2,00E-02	0,6150167	5,79E-01	6,51E-01	2,00E-02	0,68848902	6,55E-01	7,22E-01
3,00E-02	0,6137128	5,86E-01	6,41E-01	3,00E-02	0,68364693	6,51E-01	7,16E-01
4,00E-02	0,6186694	5,92E-01	6,46E-01	4,00E-02	0,65828192	6,32E-01	6,85E-01
5,00E-02	0,5919499	5,64E-01	6,20E-01	5,00E-02	0,65267055	6,26E-01	6,80E-01
6,00E-02	0,6036103	5,75E-01	6,32E-01	6,00E-02	0,64410179	6,20E-01	6,68E-01
7,00E-02	0,574078	5,52E-01	5,96E-01	7,00E-02	0,5821078	5,59E-01	6,05E-01
8,00E-02	0,5354987	5,14E-01	5,57E-01	8,00E-02	0,55594064	5,30E-01	5,82E-01
9,00E-02	0,4810611	4,61E-01	5,01E-01	9,00E-02	0,49093786	4,60E-01	5,22E-01
0,1	0,3908549	3,63E-01	4,18E-01	0,1	0,39039699	3,53E-01	4,28E-01
0,11	0,293723	2,56E-01	3,31E-01	0,11	0,25695762	2,20E-01	2,93E-01
0,12	0,2110784	1,77E-01	2,45E-01	0,12	0,15626479	1,25E-01	1,87E-01
0,13	0,1224474	9,82E-02	1,47E-01	0,13	9,79E-02	7,86E-02	1,17E-01
0,14	6,88E-02	5,45E-02	8,31E-02	0,14	6,00E-02	4,57E-02	7,43E-02
0,15	3,36E-02	2,35E-02	4,37E-02	0,15	3,88E-02	2,81E-02	4,94E-02
0,16	2,23E-02	1,48E-02	2,98E-02	0,16	2,24E-02	1,44E-02	3,04E-02
0,17	1,75E-02	1,10E-02	2,40E-02	0,17	1,39E-02	8,15E-03	1,96E-02
0,18	9,77E-03	5,66E-03	1,39E-02	0,18	5,54E-03	1,87E-03	9,22E-03
0,19	4,54E-03	1,93E-03	7,15E-03	0,19	4,39E-03	1,70E-03	7,08E-03
0,2	2,72E-03	6,80E-04	4,76E-03	0,2	2,57E-03	3,29E-04	4,81E-03
0,21	4,05E-03	1,43E-03	6,67E-03	0,21	1,25E-03	-6,26E-05	2,56E-03
0,22	2,22E-03	6,20E-04	3,82E-03	0,22	8,77E-04	-2,01E-04	1,96E-03
0,23	4,77E-04	-1,25E-04	1,08E-03	0,23	2,15E-04	-2,25E-04	6,56E-04
0,24	1,89E-04	-1,92E-04	5,70E-04				
0,25	9,86E-04	-1,54E-04	2,13E-03				
0,26	5,25E-04	-2,11E-04	1,26E-03				



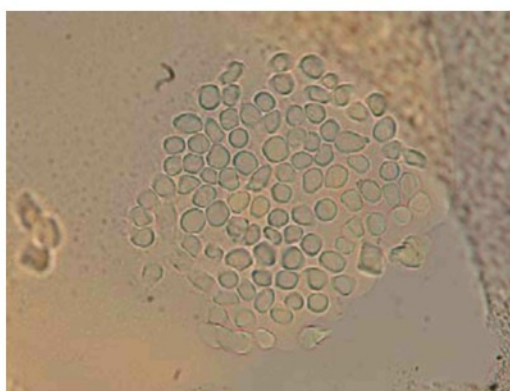
Obr. 7 – Příčný řez příze č. 1 ZS2



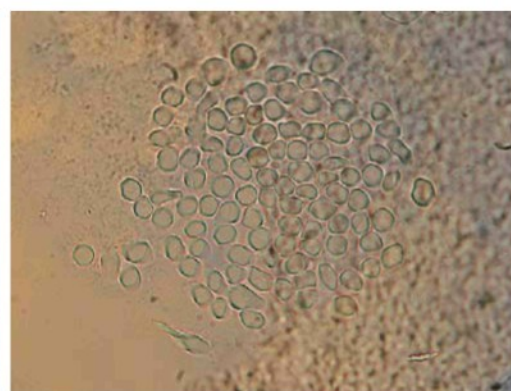
Obr. 8 – Příčný řez příze č. 2 ZS2

Tab. 11 – Poloměr a radiální zaplnění příze č. 3 a č. 4 ZS2

Příze č. 3 $Z = 442 \text{ m}^{-1}$				Příze č. 4 $Z = 500 \text{ m}^{-1}$			
r [mm]	μ_k [-]	IS d [-]	IS h [-]	r [mm]	μ_k [-]	IS d [-]	IS h [-]
0	0,6273781	5,48E-01	7,07E-01	0	0,6376654	5,63E-01	7,13E-01
1,00E-02	0,6260035	5,83E-01	6,69E-01	1,00E-02	0,65481836	6,15E-01	6,95E-01
2,00E-02	0,6110285	5,78E-01	6,44E-01	2,00E-02	0,61934686	5,82E-01	6,57E-01
3,00E-02	0,6363037	5,99E-01	6,73E-01	3,00E-02	0,64492499	6,22E-01	6,68E-01
4,00E-02	0,6230847	5,97E-01	6,49E-01	4,00E-02	0,63416404	6,08E-01	6,60E-01
5,00E-02	0,5980262	5,68E-01	6,28E-01	5,00E-02	0,62043387	5,96E-01	6,45E-01
6,00E-02	0,6274673	6,04E-01	6,51E-01	6,00E-02	0,62291706	5,97E-01	6,49E-01
7,00E-02	0,5915641	5,71E-01	6,12E-01	7,00E-02	0,609927	5,84E-01	6,36E-01
8,00E-02	0,5643557	5,42E-01	5,87E-01	8,00E-02	0,58190962	5,56E-01	6,08E-01
9,00E-02	0,5027393	4,81E-01	5,24E-01	9,00E-02	0,53861551	5,16E-01	5,61E-01
0,1	0,4055703	3,75E-01	4,36E-01	0,1	0,41257301	3,77E-01	4,48E-01
0,11	0,297302	2,59E-01	3,36E-01	0,11	0,28253873	2,42E-01	3,23E-01
0,12	0,1854639	1,55E-01	2,16E-01	0,12	0,17990113	1,46E-01	2,14E-01
0,13	0,1068731	8,48E-02	1,29E-01	0,13	9,22E-02	6,19E-02	1,22E-01
0,14	6,36E-02	4,87E-02	7,85E-02	0,14	5,23E-02	2,66E-02	7,80E-02
0,15	3,34E-02	2,28E-02	4,39E-02	0,15	2,58E-02	1,55E-02	3,60E-02
0,16	2,02E-02	1,02E-02	3,02E-02	0,16	1,13E-02	5,84E-03	1,67E-02
0,17	9,40E-03	4,25E-03	1,45E-02	0,17	5,56E-03	1,83E-03	9,30E-03
0,18	6,80E-03	2,51E-03	1,11E-02	0,18	2,64E-03	7,48E-04	4,53E-03
0,19	3,04E-03	4,07E-04	5,68E-03	0,19	7,21E-04	-2,99E-04	1,74E-03
0,2	6,25E-04	-3,35E-04	1,58E-03	0,2	5,65E-04	-2,45E-04	1,37E-03
0,21	3,74E-04	-3,91E-04	1,14E-03	0,21	9,60E-04	-2,87E-04	2,21E-03
0,22	2,14E-04	-2,24E-04	6,52E-04	0,22	4,97E-04	-4,87E-04	1,48E-03
0,23	4,37E-04	-4,57E-04	1,33E-03	0,23	1,26E-04	-1,31E-04	3,82E-04
0,24	1,99E-05	-2,08E-05	6,06E-05				



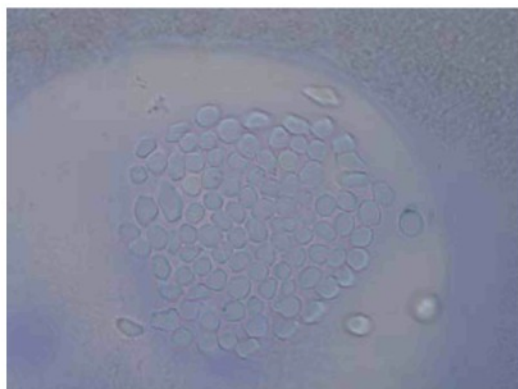
Obr. 9 – Příčný řez příze č. 3 ZS2



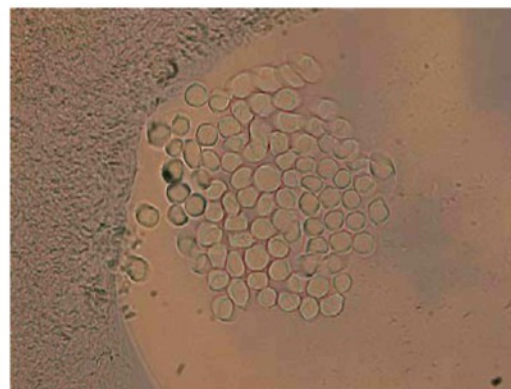
Obr. 10 – Příčný řez příze č. 4 ZS2

Tab. 12 – Poloměr a radiální zaplnění příze č. 5 a č. 6 ZS2

Příze č. 5 $Z = 580 \text{ m}^{-1}$				Příze č. 6 $Z = 620 \text{ m}^{-1}$			
r [mm]	μ_k [-]	IS d [-]	IS h [-]	r [mm]	μ_k [-]	IS d [-]	IS h [-]
0	0,6514174	5,97E-01	7,05E-01	0	0,68163202	6,32E-01	7,31E-01
1,00E-02	0,6329521	5,85E-01	6,81E-01	1,00E-02	0,68894392	6,59E-01	7,19E-01
2,00E-02	0,6451361	6,12E-01	6,78E-01	2,00E-02	0,67785706	6,51E-01	7,05E-01
3,00E-02	0,6385835	6,05E-01	6,72E-01	3,00E-02	0,68649056	6,58E-01	7,14E-01
4,00E-02	0,6606499	6,32E-01	6,90E-01	4,00E-02	0,66984976	6,43E-01	6,97E-01
5,00E-02	0,6032071	5,69E-01	6,37E-01	5,00E-02	0,67035269	6,43E-01	6,98E-01
6,00E-02	0,6150414	5,86E-01	6,44E-01	6,00E-02	0,65716818	6,35E-01	6,80E-01
7,00E-02	0,6014466	5,73E-01	6,29E-01	7,00E-02	0,64487926	6,30E-01	6,60E-01
8,00E-02	0,5550041	5,29E-01	5,81E-01	8,00E-02	0,60884515	5,90E-01	6,28E-01
9,00E-02	0,5046305	4,75E-01	5,34E-01	9,00E-02	0,54568533	5,21E-01	5,70E-01
0,1	0,4081863	3,71E-01	4,45E-01	0,1	0,40878565	3,68E-01	4,49E-01
0,11	0,2956494	2,49E-01	3,42E-01	0,11	0,2433528	1,99E-01	2,87E-01
0,12	0,1891776	1,47E-01	2,32E-01	0,12	0,13628318	9,06E-02	1,82E-01
0,13	0,1142346	7,87E-02	1,50E-01	0,13	6,92E-02	4,47E-02	9,37E-02
0,14	5,69E-02	3,00E-02	8,37E-02	0,14	3,49E-02	2,12E-02	4,85E-02
0,15	2,58E-02	1,13E-02	4,03E-02	0,15	2,42E-02	1,43E-02	3,40E-02
0,16	1,52E-02	7,46E-03	2,30E-02	0,16	1,38E-02	7,99E-03	1,96E-02
0,17	7,61E-03	3,46E-03	1,18E-02	0,17	9,57E-03	5,04E-03	1,41E-02
0,18	5,25E-03	3,55E-04	1,01E-02	0,18	6,83E-03	3,15E-03	1,05E-02
0,19	2,64E-03	-2,64E-04	5,54E-03	0,19	2,64E-03	5,01E-04	4,79E-03
0,2	2,57E-03	-4,61E-04	5,60E-03	0,2	1,22E-03	-2,72E-04	2,72E-03
0,21	1,06E-03	-2,39E-04	2,36E-03	0,21	6,09E-04	-1,62E-04	1,38E-03
0,22	1,51E-03	-2,11E-04	3,22E-03	0,22	4,73E-04	-4,94E-04	1,44E-03
0,23	4,55E-04	-1,67E-04	1,08E-03	0,23	7,74E-06	-8,09E-06	2,36E-05



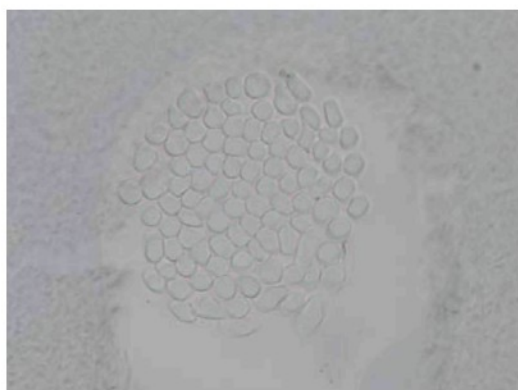
Obr. 11 – Příčný řez příze č. 5 ZS2



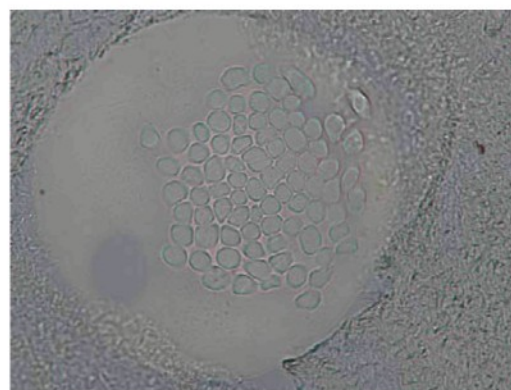
Obr. 12 – Příčný řez příze č. 6 ZS2

Tab. 13 – Poloměr a radiální zaplnění příze č. 7 a č. 8 ZS2

Příze č. 7 $Z = 692 \text{ m}^{-1}$				Příze č. 8 $Z = 714 \text{ m}^{-1}$			
r [mm]	μ_k [-]	IS d [-]	IS h [-]	r [mm]	μ_k [-]	IS d [-]	IS h [-]
0	0,7616808	6,94E-01	8,29E-01	0	0,73188682	6,66E-01	7,98E-01
1,00E-02	0,7186917	6,86E-01	7,52E-01	1,00E-02	0,69051539	6,46E-01	7,35E-01
2,00E-02	0,6994652	6,68E-01	7,31E-01	2,00E-02	0,71033069	6,82E-01	7,38E-01
3,00E-02	0,6897745	6,60E-01	7,19E-01	3,00E-02	0,69703777	6,72E-01	7,22E-01
4,00E-02	0,6978279	6,78E-01	7,18E-01	4,00E-02	0,68408127	6,59E-01	7,10E-01
5,00E-02	0,6833377	6,64E-01	7,03E-01	5,00E-02	0,69542813	6,69E-01	7,22E-01
6,00E-02	0,6794483	6,58E-01	7,00E-01	6,00E-02	0,69493102	6,75E-01	7,14E-01
7,00E-02	0,6503939	6,33E-01	6,67E-01	7,00E-02	0,66934584	6,46E-01	6,93E-01
8,00E-02	0,6284002	6,09E-01	6,48E-01	8,00E-02	0,63771365	6,16E-01	6,59E-01
9,00E-02	0,5521281	5,16E-01	5,88E-01	9,00E-02	0,56588576	5,42E-01	5,90E-01
0,1	0,4112692	3,55E-01	4,67E-01	0,1	0,44456137	3,99E-01	4,90E-01
0,11	0,2492256	1,89E-01	3,10E-01	0,11	0,27690734	2,29E-01	3,25E-01
0,12	0,1265399	8,56E-02	1,67E-01	0,12	0,11750077	8,53E-02	1,50E-01
0,13	5,54E-02	3,60E-02	7,48E-02	0,13	4,38E-02	2,69E-02	6,07E-02
0,14	2,59E-02	1,67E-02	3,52E-02	0,14	2,02E-02	1,13E-02	2,90E-02
0,15	1,71E-02	8,45E-03	2,57E-02	0,15	1,26E-02	6,48E-03	1,87E-02
0,16	8,07E-03	3,76E-03	1,24E-02	0,16	7,00E-03	3,74E-03	1,02E-02
0,17	6,06E-03	1,20E-03	1,09E-02	0,17	3,95E-03	1,28E-03	6,63E-03
0,18	3,92E-03	7,78E-04	7,06E-03	0,18	1,46E-03	-1,36E-05	2,94E-03
0,19	2,02E-03	2,76E-04	3,77E-03	0,19	2,11E-03	-5,75E-04	4,80E-03
0,2	2,26E-03	-8,65E-04	5,39E-03	0,2	1,73E-03	-5,43E-05	3,51E-03
0,21	1,34E-03	-6,20E-04	3,31E-03	0,21	2,83E-04	-1,84E-04	7,51E-04
0,22	2,73E-04	-2,86E-04	8,32E-04				



Obr. 13 – Příčný řez příze č. 7 ZS2



Obr. 14 – Příčný řez příze č. 8 ZS2