



Vliv zákrutu na geometrické a mechanicko - fyzikální vlastnosti multifilu

Diplomová práce

Studijní program: N3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106T017 – Oděvní a textilní technologie
Autor práce: **Bc. Ondřej Martínek**
Vedoucí práce: Ing. Eva Moučková, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering ■

Master thesis

Study programme: N3106 – Textile Engineering
Study branch: 3106T017 – Clothing and Textile Technology

Author: **Bc. Ondřej Martínek**
Supervisor: Ing. Eva Moučková, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Martínek**
Osobní číslo: **T16000094**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**
Název tématu: **Vliv zákrutu na geometrické a mechanicko - fyzikální vlastnosti multifilu**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a struktur**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Vypracujte rešerši na téma mechanicko-fyzikální a geometrické vlastnosti multifilu, zaměřte se na vliv zákrutu na tyto vlastnosti.
2. Na souboru jednoduchých a dvojmo skaných multifilů s různou úrovní zákrutu proveďte experimentální měření mechanicko-fyzikálních vlastností.
3. Proveďte rozbor geometrických vlastností testovaných multifilů (např. průměr multifilu a úhel sklonu vláken v multifilu).
4. Získaná data statisticky zpracujte a analyzujte vliv zákrutu na sledované vlastnosti multifilu.
5. Ověřte teoretický model využití pevnosti vláken v zakrouceném svazku. Výsledky diskutujte.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

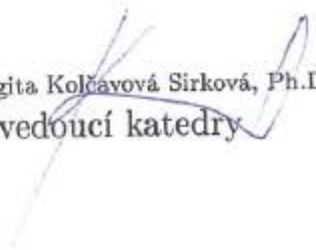
- [1] **MORTON. W. E., HEARLE, J.W.S.:** *Physical Properties of Textile Fibres*. Fourth edition. Cambridge: Woodhead Publishing. 2008. ISBN 1 870812 41 7.
[2] **NECKÁŘ. B:** *Příze - tvorba, struktura, vlastnosti*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00213-3.
[3] **ČSN EN ISO 2061.** *Textilie - Zjišťování zákrutů nití - Metoda přímého počítání*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, únor 2011.
[4] **ČSN EN ISO 2062.** *Textilie - Nitě na návinech - Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu pomocí přístroje s konstantní rychlostí prodloužení (CRE)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, červenec 2010.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Eva Moučková, Ph.D.**
Katedra technologií a struktur
Konzultant diplomové práce: **Ing. Iva Mertová**
Katedra technologií a struktur

Datum zadání diplomové práce: **15. dubna 2017**
Termín odevzdání diplomové práce: **4. května 2018**


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 5. března 2018

Žádost o změnu termínu odevzdání závěrečné práce

Jméno a příjmení: Ondřej Martínek
Osobní číslo: T16000094
Studijní program: N3106 / Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106T017 / Oděvní a textilní technologie
Zadávací katedra: KTT

Žádám o změnu termínu odevzdání závěrečné práce z 4.5.2018 na 7.12.2018 .

Odůvodnění žádosti:

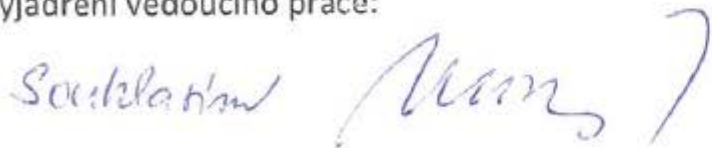
Nestihnutí termínu odevzdání diplomové práce z důvodu pracovního vytížení.

V Liberci dne 3.5.2018

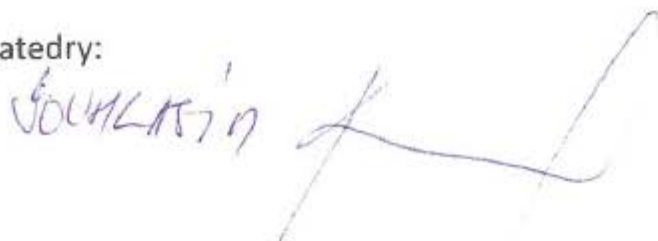
Podpis:



Vyjádření vedoucího práce:



Vyjádření vedoucího katedry:



Prohlášení

Byl jsem seznámen 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 Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval především vedoucí diplomové práce Ing. Evě Moučkové, Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky a především trpělivost a ochotu při vedení této diplomové práce. Další díky patří nesporně kolektivu pracovníků katedry textilních technologií, zejména vedoucí laboratoře Šárce Řezníčkové, za pomoc při prováděných měření. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a přátelům za podporu v celé délce studia.

Anotace

Diplomová práce se zaměřuje na vliv počtu zákrutů na mechanicko-fyzikální a geometrické vlastnosti jednoduchých a dvojmo skaných multifilů.

Rešeršní část se věnuje základní charakteristice materiálu se zaměřením na strukturu, technologii výroby a použité vztahy a předpoklady, které jsou dále užity v experimentální části práce. Do této části je také zahrnuta predikce výsledků.

Experimentální část práce obsahuje měření vybraných vlastností materiálové předlohy a určení jejích geometrických vlastností. Zahrnuje vyhodnocení měření mechanicko-fyzikálních vlastností se zaměřením na pevnost a tažnost multifilu, dále pak na průměr a zaplnění multifilu, využití pevnosti vláken v multifilu a následně komparaci predikce a výsledků měření.

Z výsledků vyplývá, že je zbytečné zakrucovat multifil nad úroveň jmenovitého zákrutu 620 m^{-1} , protože poté dochází k překrucování multifilu a s tím spojenému všeobecnému zhoršení geometrických i mechanicko-fyzikálních vlastností multifilu.

Annotation

The diploma thesis focuses on the effect of the number of twists on the mechanical-physical and geometric properties of single multifilament and double-ply multifilament

The research part deals with basic characteristics of the material with a main focus on the structure, technology of production and used formulas, which are further used in the experimental part of the thesis. The research part also includes prediction of the results.

The experimental part of the diploma thesis contains measurement of selected properties of tested material samples used in the experiment and determination of its geometrical properties. It also contains the evaluation of mechanical-physical properties with focus on breaking strength and breaking elongation of multifilament, as well as on diameter and packing density of multifilament, utilization of fibre strength in multifilament and the following comparison of prediction and test results.

The results show that it is not necessary to twist the multifilament further than the nominal twist level of 620 m^{-1} , because then the multifilament starts to develop overtwist which leads to overall deterioration of its geometric and mechanical physical properties.

Klíčová slova

geometrické vlastnosti – geometric properties

mechanicko - fyzikální vlastnosti – mechanical-physical properties

skaný multifil – plied multifilament

zákrut – twist

úhel sklonu – angle of inclination

tahová křivka – stress-strain curve

pevnost – breaking strength

tažnost – breaking elongation

zaplnění – packing density

průměr – diameter

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	12
Úvod.....	16
Rešeršní část	17
2 Předloha	17
2.1 Multifil.....	17
2.2 Polypropylen	18
5 Příprava pro skaní a skaní.....	19
5.1 Dvouzákrutový skací stroj	20
6 Vybrané vlastnosti multifilu	22
6.1 Geometrické vlastnosti.....	22
7.1 Mechanicko fyzikální vlastnosti	30
8 Vliv zákrutu na mechanicko – fyzikální vlastnosti multifilu	33
9 Predikce výsledků	36
9.1 Vliv zákrutu na seskání	36
9.2 Vliv seskání na jemnost.....	37
9.3 Vliv zákrutu na zaplnění a průměr multifilu	38
9.4 Vliv zákrutu na tažnost	38
9.5 Vliv zákrutu na pevnost	41
9.6 Chování skaného multifilu	44
10 Statistické zpracování dat získaných z experimentu.....	45
10.1 Normalita a homogenita	45
10.2 Aritmetický průměr	46
10.3 Směrodatná odchylka.....	46
10.4 Variační koeficient	46
10.5 95% interval spolehlivosti	47
10.6 Párový korelační koeficient	47
Experimentální část.....	49
11 Charakteristika použitého materiálu.....	50

12	Ověření geometrických vlastností předlohy	52
12.1	Počet a tvar fibril ve vlákenném svazku	52
12.2	Ověření jemnosti	54
12.3	Zákrut	56
13	Měření průměru	59
14	Úhel sklonu povrchových vláken.....	64
14.1	Podélné pohledy.....	65
15	Zaplnění.....	73
15.1	Příčné řezy multifilů	74
15.2	Teoretický výpočet průměru	78
16	Měření pevnosti a tažnosti	80
17	Využití pevnosti vláken	87
18	Predikce tažnosti	91
	Závěr.....	93
	Zdroje.....	96
	Seznam obrázků	101
	Seznam tabulek	105
	Seznam příloh.....	106
	Přílohy.....	107

Seznam symbolů a zkratek

a	...	[$\text{ktex}^{2/3}\text{m}^{-1}$]	...	Phrixův zákrutový koeficient
d	...	[mm]	...	průměr multifilu
d_e	...	[mm]	...	průměr kruhového průřezu
d_s	...	[mm]	...	substanční průměr
D	...	[mm]	...	průměr válce
E	...	[-]	...	Youngův modul pružnosti
F_a	...	[N]	...	síla působící ve směru osy vlákenného svazku
F_l	...	[N]	...	síla působící ve směru fibrily
f	...	[1]	...	počet fibril ve filamentu
$IS_{95\%}$...	[1]	...	95 % interval spolehlivosti
k_n	...	[-]	...	konstanta odvozená ze šroubovicového modelu
l	...	[km]	...	délka
l_0	...	[mm]	...	upínací délka
l_{max}	...	[mm]	...	maximální délka při tahovém namáhání
m	...	[g]	...	hmotnost
n	...	[1]	...	počet
N	...	[1]	...	počet ovinů
Nm	...	[-]	...	číslo metrické
p	...	[cN.tex^{-1}]	...	poměrná pevnost
p^*	...	[cN.tex^{-1}]	...	poměrná pevnost fibrily
P	...	[N]	...	pevnost zakrouceného vlákenného svazku

P^*	...	[N]	...	pevnost nezakrouceného vlákenného svazku
P_c	...	[mm ²]	...	celková plocha příčného řezu
P_v	...	[mm ²]	...	souhrnná plocha vláken v příčném řezu
POP	...	[-]	...	polypropylen
r	...	[mm]	...	poloměr
R_{ij}	...	[1]	...	párový korelační koeficient
s	...	[μm ²]	...	plocha řezu kolmo na osu vlákna
s	...	[mm ²]	...	substanční průřez vlákna
s	...	[1]	...	směrodatná odchylka
S^2	...	[1]	...	rozptyl
s^*	...	[μm ²]	...	plocha řezu kolmo na osu zakrouceného svazku
s_e	...	[mm ²]	...	plocha řezu délkové textilie
s_o	...	[mm ²]	...	plocha kruhového průřezu
S	...	[mm ²]	...	substanční průřez zakrouceného svazku
S_p	...	[mm ²]	...	substanční průřez vlákenného útvaru
S_o	...	[mm ²]	...	substanční průřez nezakrouceného svazku
τ	...	[1]	...	testační statistika
t_α	...	[-]	...	hodnota Studentova rozdělení
T	...	[tex]	...	jemnost
T_j	...	[tex]	...	jemnost jednoduché délkové textilie
T_J	...	[tex]	...	jmenovitá jemnost
T_d	...	[den]	...	titr denier
T_s	...	[tex]	...	jemnost skaného vlákenného útvaru

T_S	...	[tex]	...	skutečná jemnost
T_0	...	[tex]	...	výchozí jemnost svazku
v	...	[%]	...	variační koeficient
V	...	[m ³]	...	objem zakrouceného vlákenného svazku
V_c	...	[mm ³]	...	celkový objem úseku délkové textilie
V_v	...	[mm ³]	...	objem vláken v úseku délkové textilie
V_0	...	[m ³]	...	objem nezakrouceného vlákenného svazku
x_i	...	[1]	...	jednotlivé hodnoty měření
\bar{x}	...	[1]	...	aritmetický průměr
Z	...	[m ⁻¹]	...	počet zákrutů
Z_J	...	[m ⁻¹]	...	jmenovitý počet zákrutů
Z_S	...	[m ⁻¹]	...	skutečný počet zákrutů
α	...	[1]	...	hladina významnosti
α	...	[ktex ^{1/2} m ⁻¹]	...	Koechlinův zákrutový koeficient
β_D	...	[°]	...	úhel sklonu povrchových vláken
δ	...	[%]	...	seskání
Δl	...	[mm]	...	protažení
ε	...	[%]	...	tažnost
ε_a	...	[-]	...	tažnost svazku
ε_l	...	[-]	...	tažnost vlákna
ε_p	...	[%]	...	predikovaná tažnost
ε_r	...	[-]	...	poměrné „prodloužení“ poloměru
ε_T	...	[%]	...	teoreticky zjištěná tažnost

ζ	...	[mm]	...	délka rozkrouceného svazku
ζ_0	...	[mm]	...	délka svazku před rozkroucením
η	...	[1]	...	Poissonův poměr příčné kontrakce
κ	...	[-]	...	intenzita zákrutu
μ	...	[1]	...	zaplnění
μ	...	[1]	...	střední hodnota normálního rozdělení
ζ_i	...	[-]	...	jednotlivé veličiny
π	...	[1]	...	Eulerovo číslo
σ	...	[Pa]	...	napětí
σ_a	...	[Pa]	...	normálové napětí na řezné ploše vlákna
σ^2	...	[1]	...	rozptyl normálního rozdělení
ρ	...	[kgm ⁻³]	...	hustota
ρ_p	...	[-]	...	populační párový korelační koeficient
φ	...	[%]	...	využití pevnosti vláken v zakrouceném svazku

Úvod

Pod pojmem multifil rozumíme délkový vláknenný útvar tvořený větším množstvím nekonečných vláken, které se nazývají fibrily. Staplová příze je na druhou stranu tvořena tzv. staplovými vlákny, mezi které se řadí všechny spřadatelné přírodní materiály a stříže z chemických vláken. Rozdíl v použité vláknenné surovině je dále umocněn rozdílnou technologií, kterou jsou oba délkové vláknenné útvary vyráběny. To vede k výrazným odlišnostem mezi oběma typy délkových textilií, které se projeví jak na jejich geometrických, tak i na mechanicko-fyzikálních vlastnostech.

Skání je proces, při kterém se spojují dvě a více nití zákrutem. V případě staplových přízí je skání využito zejména k získání vyšší poměrné pevnosti příze, snížení chlupatosti, či zvýšení stejnoměrnosti příze, v porovnání jak s předlohou, tak s přízí jednoduchou o stejné jemnosti jako je příze skaná. Vzhledem k tomu, že multifil je tvořen nekonečnými chemickými vlákny, jeho chlupatost bývá velmi malá. Stejně tak poměrná pevnost je zpravidla nejvyšší před zakroucením, zatímco u staplových přízí poměrná pevnost roste společně s rostoucím počtem zákrutů až do úrovně tzv. kritického zákrutu.

Cílem diplomové práce je tak ověřit na sérii vzorků, která je tvořena polypropylenovými skanými multifily se skacím zákrutem 120 až 720 m⁻¹ a dále pro porovnání také jednoduchým polypropylenovým multifilem se zákrutem 120 až 720 m⁻¹, vliv zákrutu na geometrické a mechanicko-fyzikální vlastnosti skaného multifilu.

V případě geometrických vlastností se tak jedná o ověření průměru multifilu a úhlu sklonu povrchových fibril vůči ose multifilu a jejich chování v závislosti na zákrutu. Mezi zkoumané mechanicko-fyzikální vlastnosti patří zejména poměrná pevnost a tažnost jednoduchých a skaných multifilů.

Rešeršní část

V této části práce jsou uvedeny základní parametry multifilu související se zkoumanými geometrickými a mechanicko-fyzikálními vlastnostmi, stejně jako informace úzce související s použitým textilním materiálem, pro experiment podstatnou přípravou textilního materiálu, a v práci zkoumanými ději.

2 Předloha

2.1 Multifil

Multifil je délková textilie, která je složena z více vláken nekonečné délky, nebo-li fibril. Ty leží zpravidla paralelně vedle sebe a jejich soudržnost je nejčastěji zajištěna provířením při výrobě. Možností je také opatřit multifil ochranným zákrutem [1, 2].

Filament je všeobecně pojmenování pro všechna chemická textilní vlákna s výjimkou těch, která jsou nějakým způsobem rozdělena nebo nakráčena na určitou staplovou délku, např. trháním, řezáním [2].

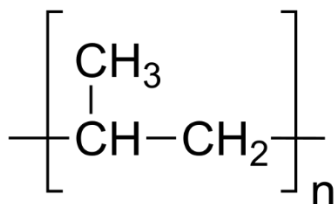
Filament se k dalšímu zpracování dodává nejčastěji jako svazek elementárních fibril, které jsou zpravidla sdruženy ze všech otvorů zvlákňovací trysky. Počet fibril ve filamentu se značí f [1] [2].



Obrázek 1: Zleva do prava - monofil, nezpevněný multifil a zákrutem zpevněný multifil [3]

2.2 Polypropylen

Polypropylen je semikrystalický termoplast ze skupiny polyolefinů. Polyolefiny jsou dle [7] největší skupinou syntetických polymerů vznikajících polymerací uhlovodíků. Jedná se o lineární polymer. Základní jednotka polypropylenu se skládá ze tří uhlíků a šesti atomů vodíku, jak je vidět na Obrázku 2. Charakteristickou je pro polypropylen přítomnost methylové (CH₃) skupiny na hlavním uhlíkovém řetězci [7, 8, 9].



Obrázek 2: Základní jednotka polypropylenu [3]

Polypropylenová vlákna jsou velmi lehká, s hodnotou měrné hmotnosti odpovídající $\rho = 910 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Polypropylenová vlákna jsou absolutně hydrofobní. Povrch polypropylenových vláken má totiž vůbec nejvyšší povrchové napětí ve srovnání s ostatními textilními vlákny [12, 13].

Procesy užití při výrobě polypropylenu jsou velmi podobné těm, které se uplatňují při výrobě vysokohustotního polyethylenu (HDPE). Obecně se používají zejména způsoby přípravy v plynné fázi nebo v suspenzi [8].

Při výrobě v suspenzi je využit kapalný monomer namísto rozpouštědla. Polypropylen je společně s rozpouštědlem a katalyzátorem přiváděn do reaktoru, kde dochází k polymerizaci při teplotách v rozmezí 50 °C a 80 °C a tlacích nižších než 2 MPa. Polypropylen se poté nachází v podobě práškových částic suspendovaných v rozpouštědle. Po odstranění nezreagovaného propylenu je suspenze obsahující polypropylen odebrána z reaktoru. Textilní vlákna jsou poté připravována zvláknováním z taveniny a následně se dluží [8, 9, 11].

5 Příprava pro skaní a skaní

S výjimkou předenoskacích systémů, probíhá skaní technologicky po zvlákňování, dloužení, případně proviřování a vyžaduje-li to technologie zpracování, pak po přípravě pro skaní.

Příprava pro skaní zahrnuje soukání nebo sdužování. Soukání slouží pro převinutí délkového vlákného útvaru z návínu, který je nevhodný pro další technologické zpracování, na cívku s křížovým vinutím. V rámci soukání jsou odstraněna slabá a silná místa a délková textilie se během procesu čistí od prachu. [19, 20].

Sdužování probíhá na družicím stroji. Jedná se o operaci podobnou soukání, při které ale dochází ke spojení dvou a více jednoduchých délkových textilií. Ty jsou poté navinuty na cívku s křížovým vinutím a slouží jako předloha pro skaní, např. dvouzákutový skací stroj, nebo se provádí vyžaduje-li to jiná technologická operace [18, 19].

Skaní je spojení dvou a více jednoduchých přízí zakrucováním. Skaným multifilem tak rozumíme délkový textilní útvar, který je složený ze dvou a více jednoduchých přízí či jednoduchých multifilů spojených zákrutem. V případě multifilu se skáním někdy rozumí také zakrucování jednoho multifilu [21, 22].

Účelem skaní je zlepšení některých vlastností výsledné příze. Obecně mezi očekávaná zlepšení patří zvýšení pevnosti, zvýšení tažnosti a snížení hmotové nestejnoměrnosti. Případně lze skáním dosáhnout množství efektů s uplatněním, mimo jiné, v návrhářství, jako jsou efektní příze. Těchto efektů je možné dosáhnout skáním přízí různých barev, změnou podávací rychlosti, nepravidelným podáváním nebo skáním přízí o různých jemnostech [21].

Účelem skaní multifilu je dle Lorenze [23] zvýšení soudržnosti multifilu, docílení požadované tloušťky, zlepšení odolnosti v oděru nebo do určité míry zlepšení mechanických vlastností multifilu. Uvádí také, že je díky skaní možné docílit lepší odolnosti v oděru a zajistit větší ochranu multifilu před namáháním během některých následujících výrobních procesů, jako je tkaní a pletení. Díky skaní dochází k přikroucení přetržených fibril multifilu a tak zabránění šíření přetruhu v multifilu

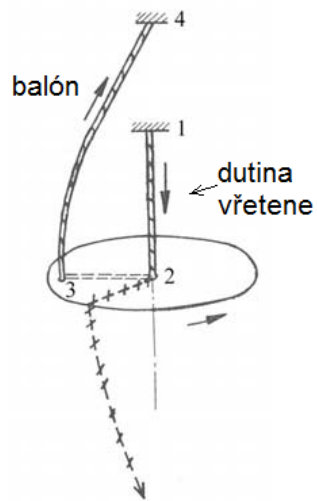
během tkaní a pletení. Díky skaní lze také zlepšit omak a optické vlastnosti multifilu, nebo snížit smyčkování v případě multifilu tvarovaného nepravým zákrutem [23].

Skanámu multifilu může být udělen zákrut jak ve směru S, tak i ve směru Z. Zvolený směr zákrutu má vliv na pevnost, tažnost, omak i vzhled finální nitě. Nejčastěji se volí opačný směr skacího zákrutu, než je směr zákrutu u původního, jednoduchého multifilu. V případě této varianty je ale nutné počítat se ztrátou některých ochranných zákrutů [21].

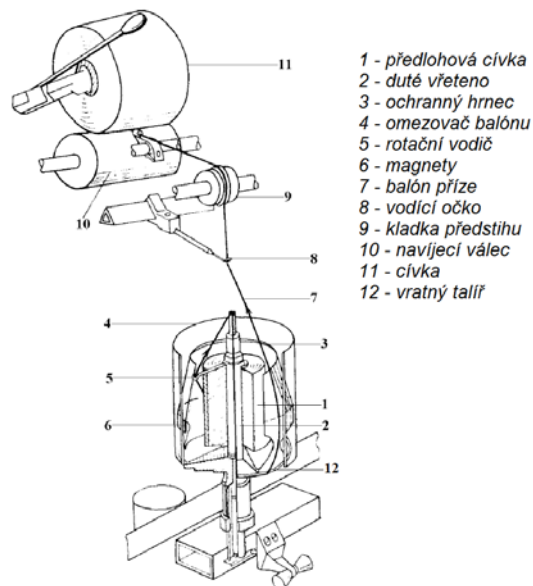
Rozlišujeme jednostupňové a vícestupňové skaní. Vícestupňové skaní je takové skaní, při kterém je v prvním kroku vytvořena skaná příze z jednoduchých přízí a v dalším kroku už se seskává vícero skaných přízí. Existuje několik principů, jak seskat jednoduché příze. Mezi ně patří systém prstencový, dvouzákrutový, nebo stupňový [21, 22].

5.1 Dvouzákrutový skací stroj

Jednoduché multifily byly seskávány na dvouzákrutovém skacím stroji firmy Volkmann. Dvouzákrutový skací stroj má dle [21] schopnost udělit dva zákruty během jedné otáčky vřetene. Princip tohoto stroje je graficky znázorněn na Obrázku 3 a 4. Za jednu otáčku vřetene dvouzákrutového skacího stroje dojde k uložení jednoho zákrutu v dutině vřetene a druhého zákrutu v balónu. Délkový vlákenný materiál je do dutiny vřetene veden z cívky přes rotační vodič, díky němuž se z cívky odvíjí. Vstupuje do dutiny vřetene, kde se zakrucuje. Z dutiny vřetene poté vychází otvorem v radiálním směru a je veden přes vratný talíř a postupuje směrem k vodícímu očku. V tomto úseku dochází k tvorbě balónu kolem rotujícího vřetene a vzniku zákrutu [21].



Obrázek 3: Schéma principu udílení zákrutu na dvouzákrutovém skacím stroji [21]



Obrázek 4: Schéma dvouzákrutového skacího stroje [24]

6 Vybrané vlastnosti multifilu

6.1 Geometrické vlastnosti

6.1.1 Jemnost délkového vlákenného materiálu

Jemnost, nebo také délková hmotnost nitě, je definována jako podíl hmotnosti úseku nitě o určité délce. Existuje několik jednotek, se kterými je možné se setkat. Běžně se ale pro vyjádření jemnosti délkové textilie používá T [tex], která je definována jako podíl hmotnosti m [g] úseku nitě o délce l [km]. Vychází z gravimetrické metody měření jemnosti, při které je odměřen úsek délkového vlákenného materiálu, zpravidla 100 m, který je poté zvážen. Jemnost lze tedy počítat jako:

$$T = \frac{m}{l} \quad (1)$$

V praxi se běžně používá také číslo metrické Nm , jako poměr délky l [m] ku hmotnosti m [g], nebo Titr denier Td , který je definován jako poměr hmotnosti m [g] ku délce l [9 km]. Td se používá zejména v případě multifilu.

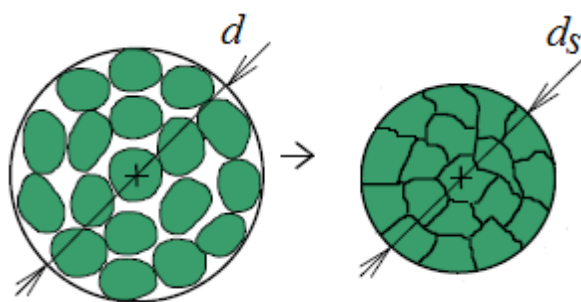
$$Nm = \frac{l}{m} \quad (2)$$

$$Td = \frac{m}{l} \quad (3)$$

6.1.2 Průměr délkového vlákenného útvaru

Přesné určení průměru multifilu může být náročné, proto bývá nahrazen hodnotou průměru pomyslného válce, ve kterém se nachází většinová část fibril. Vzhledem k tomu, že průměr multifilu d [mm] neobsahuje pouze fibrily, ale také mezivláknenné póry, tj. prostor, který není zaplněn fibrilami, ale vyplněn vzduchem, rozlišujeme také substanční průměr d_s [mm]. Průměr i substanční průměr jsou vyobrazeny na Obrázku 5.

Substanční průměr si lze představit tak, že pomyslně stlačíme vlákenný útvar takovým způsobem, že z něj bude vytlačen všechn vzduch a vlákna se natěsnají na sebe tak, že mezi nimi nebude žádný volný prostor. Platí, že substanční průměr nabývá vždy nižších hodnot, než průměr vlákenného útvaru [26].



Obrázek 5: Průměr a substanční průměr příze [26]

Průměr délkového vláknenného útvaru lze měřit různými způsoby, např. z podélného pohledu pomocí obrazové analýzy nebo pomocí měřících zařízení, využívajících optický princip měření. V rámci experimentu byl průměr multifilu měřen pomocí přístroje CTT a modulu CTT-YAS.

6.1.2.1 CTT

CTT, nebo-li Constant Tension Transport, je přístroj vyvinutý společností Lawson Hemphill inc. sídlící v USA. Jedná se o přístroj, který vede přízi pod konstantním napětím a v rozmezí rychlostí mezi 20 a 360 m.min⁻¹. Zařízení, vyobrazené na Obrázku 6, umožňuje měření poměrně široké škály testů díky výměnným modulům, kterými lze základní jednotku doplňovat pro jednotlivá specifická měření [4].

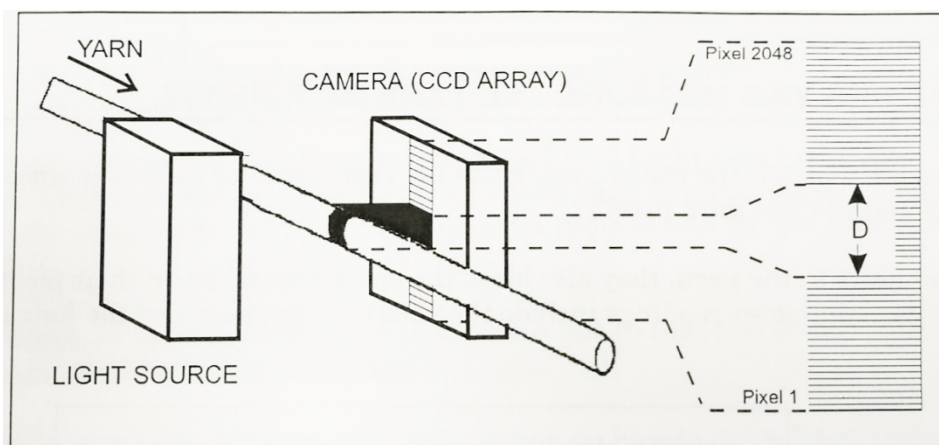
Měření na CTT všeobecně probíhá za konstantní rychlosti, kdy zkoumaná délková textilie probíhá přístrojem za konstantního napětí, které je zaznamenáno pomocí tenzometru. Délkový vláknenný materiál je nejprve naveden z návínu přes frikční brzdíčku, na válečky, kolem kterých je nit několikrát omotána, a které slouží jako pohon materiálu. Z válečků, patrných na Obrázku 6, prochází nit přes rameno, udržující zvolené napětí délkové textilie, do patřičného modulu pro měření vybrané vlastnosti textilního materiálu. Vlákenný materiál pokračuje přes tenzometr na druhou sadu válečků a pomocí proudu vzduchu je unášen do sběrného koše.



Obrázek 6: Zařízení CTT bez přídatných modulů [6]

6.1.2.2 Modul CTT-YAS

Pro měření průměru a variability průměru předlohy byl použit modul CTT-YAS (Yarn analysis test). Základem pro vyhodnocení tenkých míst, tlustých míst, chlupatosti nebo vzhledu jsou YAS softwarem naměřené hodnoty průměru multifilu pomocí modulu se zabudovanou kamerou. Multifil prochází mezi světelným zdrojem a řádkovou kamerou modulu CTT-YAS. Světelný paprsek je buď blokován multifilem nebo přijímán kamerou. Řádková kamera zaznamenává počet zastíněných pixelů a na základě těchto údajů je softwarem vyhodnocen průměr délkového vláknenného útvaru jako vzdálenost mezi prvním a posledním zastíněným pixelem, přičemž odstávající vlákna nejsou do vyhodnocení velikosti průměru zahrnuta. Dochází ke snímání každého 0,5 mm délkového vláknenného útvaru. Měření probíhá při rychlosti 100 m.min⁻¹. Dále je vyhodnocena variabilita průměru a počet vad [4, 5].



Obrázek 7: Princip měření průměru nitě pomocí modulu CTT YAS [5]

6.2.3 Zaplnění

Zaplnění vlákenného materiálu μ [1] je podle Neckáře [26] popsáno jako podíl objemu vláken V_v [mm³] v úseku délkové textilie ku celkovému objemu V_c [mm³] tohoto úseku délkové textilie. Tento popis také odpovídá tvrzení, že se jedná o podíl plochy vláken, která se nacházejí v příčném řezu, ku celkové ploše příčného řezu. Zaplnění nabývá hodnot v rozmezí od 0 do 1. Lze ho vyjádřit pomocí objemu (viz vzorec 4), nebo pomocí plochy (viz vzorec I).

$$\mu = \frac{V_v}{V_c} \quad (4)$$

$$\mu = \frac{P_v}{P_c} = \frac{4S}{\pi d^2} = \frac{4T}{\pi d^2 \rho} = \left(\frac{d_s}{d}\right)^2 \quad (5)$$

Kde P_v [mm²] představuje souhrnnou plochu vláken v příčném řezu a P_c [mm²] reprezentuje celkovou plochu příčného řezu.

6.2.4 Zákrut

Zákrut patří k nejčastějším způsobům zpevnování délkových textilií. Rozlišujeme zákrut ve směru S nebo Z, jedná se o směr stoupání šroubovice zákrutu.

Zákrut je šroubovicové vinutí vlákenného útvaru, které vzniká v důsledku otáčení vlákenného svazku kolem jeho osy vlivem rotace krutného orgánu. Rozumíme tím počet ovinů kolem osy vlákenného útvaru, vztažených na délkovou jednotku. Zákrut souvisí s průměrem vlákenného útvaru, zaplněním a jemností. Platí, že pro jemnější příze (nebo multifil, či jinou délkovou textilií) s menším počtem vláken v jejím průřezu, je užít větší počet ovinů na jednotkovou délku. Tím dochází k většímu stlačování vláken v přízi, klesá průměr a zvyšuje se zaplnění příze [21].

6.2.4.1 Šroubovicový model

Pro popis rozložení vláken v délkové textilií se všeobecně používá šroubovicový model, protože přesný popis struktury vlákenného útvaru je velmi složitý. Vychází se tedy z předpokladů, že má vlákenný útvar tvar válce o průměru D [mm], osy vláken na

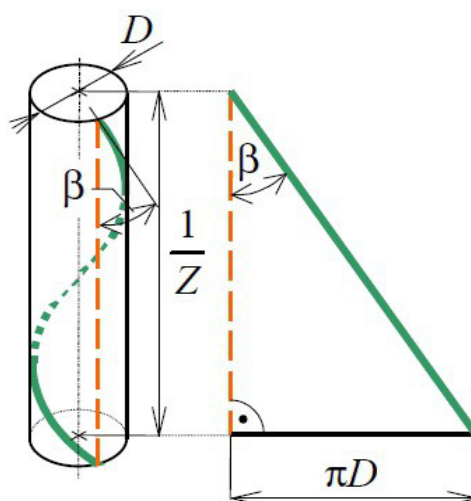
povrchu délkové textilie tvoří soustavu šroubovic, vlákna mají válcový tvar s kruhovým průřezem o průměru d_e [mm] a ploše s_o [mm²]. Výška jednoho ovinu šroubovice je $1/Z$. Ve válci, zobrazeném na Obrázku 8, a představujícím vlákenný útvar, je konstantní zaplnění [43]. Pomyslným rozvinutím pláště tohoto válce vznikne trojúhelník, na kterém lze demonstrovat vztah (6) mezi úhlem sklonu tečny vlákna k ose zakrucovaného útvaru β_D [rad] a zákrutem Z [m⁻¹]. Platí tedy vztah (6).

$$\tan \beta_D = \pi D Z \quad (6)$$

Zakroucené vlákno s kruhovým průřezem zanechává v příčném řezu délkovým vlákenným útvarem plochu s_e [mm²] ve tvaru elipsy, pro kterou platí vztah (7).

$$s_e = \frac{s_o}{\cos \beta_s} = s_o \sqrt{1 + (\tan \beta_s)^2} = s_o \sqrt{1 + (\pi D Z)^2} \quad (7)$$

Součet všech řezných ploch v průřezu multifilu se rovná substančnímu průřezu S_p [mm²]. Substanční průřez vlákenného útvaru je součet všech řezných ploch fibril, která se v multifilu nacházejí.



Obrázek 8: Ideální šroubovicový model [43]

6.2.4.2 Zákrutové koeficienty

Zákrutové koeficienty jsou využívány jako vodítko ke stanovení ideálního počtu zákrutů. K tomuto účelu jsou využívány matematické vzorce, které mají svůj základ v empiricky zjištěných hodnotách pro různé druhy vláken a zpracovávaný materiál [27].

Nejčastěji používanými zákrutovými koeficienty jsou Koechlinův zákrutový koeficient a Phrixův zákrutový koeficient. V praxi se jedná o konstanty závisující na zpracovávaném materiálu. V potaz se bere také technologický postup použitý při přípravě materiálu, stejně tak jako finální využití produktu. Koechlinova teorie má základ v geometrické podobnosti, kdy délková textilie zpracovaná ze stejného materiálu, stejnou technologií a pro analogicky podobný použití, má podobné vlastnosti a konstantní zaplnění při stejné intenzitě zákrutu, která je reprezentována tangentou úhlu sklonu povrchového vlákna β_D [27, 28].

Mezinárodně se běžně používá Koechlinův zákrutový koeficient, ale v českých normách je možné se setkat i s Phrixovým zákrutovým koeficientem. Phrixův zákrutový koeficient se nejčastěji používá pro příze. Koechlinův zákrutový koeficient se zpravidla užívá pro vlákenné útvary o vyšších číselných hodnotách jemnosti, jako jsou skané délkové textilie [27, 28].

Pro výpočet Koechlinova zákrutového koeficientu platí vztah (8) odvozený ze šroubovicového modelu.

$$\alpha = Z\sqrt{T} \quad (8)$$

Kde α [$\text{ktex}^{1/2}\text{m}^{-1}$] představuje velikost Koechlinova zákrutového koeficientu, Z [m^{-1}] je počet zákrutů na jednotku délky a T [ktex] je jemnost zkoumaného vlákenného materiálu.

Pro určení velikosti Phrixova zákrutového koeficientu je zpravidla užít vztah (9)

$$a = ZT^{2/3} \quad (9)$$

Kdy a [$\text{ktex}^{2/3}\text{m}^{-1}$] reprezentuje Phrixův zákrutový koeficient a obdobně jako v případě Koechlinova zákrutového koeficientu, Z [m^{-1}] představuje počet zákrutů na jednotku délky a T [ktex] je jemnost zkoumaného vlákenného materiálu [48].

6.2.4.3 Seskání

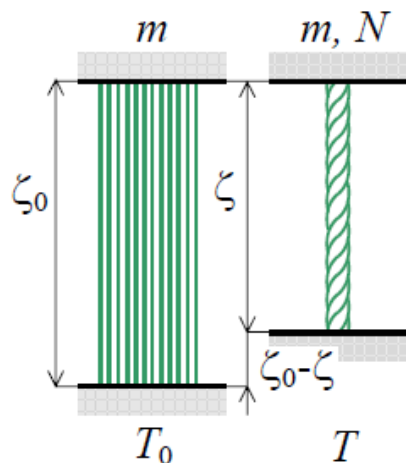
Seskání je dle [25] definováno jako poměrné zkrácení nebo prodloužení seskávaného vlákenného materiálu. Výpočet seskání je prováděn dle vztahu (10).

$$\delta = \frac{\zeta_0 - \zeta}{\zeta_0} 100 \quad (10)$$

Kde δ [%] představuje seskání, ζ_0 [mm] je délka vlákenného svazku před zakroucením a ζ [mm] je délka zakrouceného vlákenného svazku.

6.6.4.4 Jemnost zakrouceného svazku

Jemnost zakrouceného svazku lze demonstrovat Obrázkem 9. Díky zakrucování dochází k poměrnému zkrácení zakrucovaného svazku vláken vůči nezakroucenému svazku vláken. Tento jev je tak brán v potaz při výpočtu jemnosti zakrouceného svazku. V rámci veličin použitých v Obrázkem 9, m [g] představuje hmotnost svazku, ζ_0 [mm] je délka vlákenného svazku před zakroucením, ζ [mm] je délka zakrouceného vlákenného svazku, T_0 [tex] reprezentuje výchozí jemnost svazku, T [tex] pak představuje jemnost zakrouceného svazku a N je počet ovinů vložených do zakrucovaného svazku [43].



Obrázek 9: Grafické vyjádření jemnosti zakrouceného svazku [43]

Výpočet jemnosti zakrouceného svazku je odvozen ve vztahu (11) mezi výchozí jemností svazku a jemností zakrouceného svazku.

$$T_0 = \frac{m}{\zeta_0} = T \frac{\zeta}{\zeta_0} = T(1 - \delta) \quad (11)$$

6.2.4.5 Jemnost skané nitě

Jak již bylo zmíněno, při skaní jsou dvě a více nití druženy a spojovány zákrutem. To by svádělo k výpočtu jmenovité jemnosti výsledné skané nitě podle vztahu (12).

$$T_s = nT_j \quad (12)$$

Kde T_s [tex] představuje jemnost skaného vlákenného útvaru, n je počet nití a T_j [tex] reprezentuje jemnost jednoduché délkové textilie.

Do vztahu je ale nutné zařadit také seskání, ke kterému nevyhnutelně dojde udělením skacího zákrutu. Výsledný vztah (13) vypadá poté následovně.

$$T_s = nT_j \frac{100}{100-\delta} \quad (13)$$

Kde T_s [tex] představuje jemnost skaného vlákenného útvaru, n je počet nití, T_j [tex] je jemnost jednoduché délkové textilie a δ [%] představuje seskání [48].

6.2.4.6 Měření počtu skacích zákrutů

Měření skacích zákrutů probíhá obecně tzv. přímou metodou, a to tak, že je skaná délková textilie rozkroucena pomocí zákrutoměru. Skaný vlákenný materiál je umístěn do čelistí zákrutoměru pod předpětím a dojde k rozkroucení skaného vlákenného materiálu pomocí udílení opačného směru zákrutu, než je směr zákrutu skaného materiálu. Rozkrucování probíhá do té míry, kdy se jednotlivé jednoduché délkové textilie od sebe zcela oddělí a nejsou spojeny žádným zákrutem. Hodnota otáček krutného aparátu zákrutoměru je poté odečtena a tato hodnota představuje počet udělených zákrutů na upínací délce. Díky této metodě lze také určit velikost seskání, které je počítáno dle vztahu (10). Měření zákrutů probíhá dle normy ČSN EN ISO 2061 [29].

7.1 Mechanicko fyzikální vlastnosti

Mechanické vlastnosti textilních materiálů jsou takové vlastnosti, které lze popsat jako odezvu na mechanické působení vnějších sil. Patří mezi ně odezva na namáhání tahem, tlakem, ohybem, krutem a na stříh. V praxi se setkáváme většinou s kombinací zmíněných druhů namáhání. V laboratorním prostředí jsou tyto vlivy pozorovány zvlášť. Normovaným testem je ale pouze tahová zkouška [14].

Díky mechanickému namáhání vlákenného materiálu dochází k deformaci textilie, která závisí na několika faktorech, zejména na velikosti působící síly (zatížení), rychlosti a době trvání namáhání. Pevnost a tažnost jsou měřeny dle normy ČSN EN ISO 2062 [14, 30].

7.1.1 Pevnost

Pevností se rozumí maximální sílu, při které dochází k destrukci materiálu. Pevnost značíme P [N]. Pokud bude pevnost vztažena k ploše, nazýváme ji napětím, které značíme σ [Nm^{-2}] [15].

V textilním prostředí je často pevnost uváděna jako tzv. poměrná pevnost, kdy se jedná o podíl pevnosti vlákenného materiálu a jeho jemnosti, viz vztah (14). Poměrná pevnost p má poté jednotku [cNtex^{-1}] pro příze a vlákenný materiál o vyšších hodnotách jemnosti. Pro vlákna a fibrily se užívá jednotka [Ndtex^{-1}] [16].

$$p = \frac{P}{T} \quad (14)$$

7.1.2 Tažnost

Tažností se rozumí poměrné prodloužení při maximální síle, při které dochází k destrukci materiálu. Jedná se o poměr mezi prodloužením při maximální tahové síle a původní, nebo také upínací, délkou vlákenného materiálu. Upínací délkou se rozumí vzdálenost mezi čelistmi dynamometru. Prodloužení při maximální tahové síle je rozdíl mezi maximální délkou, na kterou se testovaný vlákenný materiál protáhne během měření na dynamometru, a upínací délkou. Tažnost je tedy počítána dle vztahu (15).

$$\varepsilon = \frac{l_{max} - l_0}{l_0} \cdot 100 = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \quad (15)$$

Kde ε [%] představuje tažnost vlákenného materiálu, l_0 [mm] je upínací délka, l_{max} [mm] reprezentuje maximální délku při tahovém namáhání a Δl [mm] je rozdíl maximální a upínací délky.

Mechanicko fyzikální vlastnosti multifilu byly testovány na přístroji Instron 4411. Jedná se o elektromechanický univerzální dynamometr určený k testování mechanických vlastností plošných a délkových textilií za použití síly až 5 kN a s možným rychlostním rozsahem příčnicku od 0,5 do 500 mm.min⁻¹. Dynamometr je všeobecně přístroj určený pro definované jednoosé namáhání vzorků zkoumaného materiálu a vyhodnocení síly a deformace. Pro účely práce byl přístroj využíván k měření pevnosti a tažnosti materiálu, a to zkouškou, která probíhala do destrukce materiálu tahovým namáháním. Podoba dynamometru Instron 4411, který byl využit na měření, je uvedena na Obrázku 10, kde je přístroj doplněn moduly pro měření délkových textilií [37].

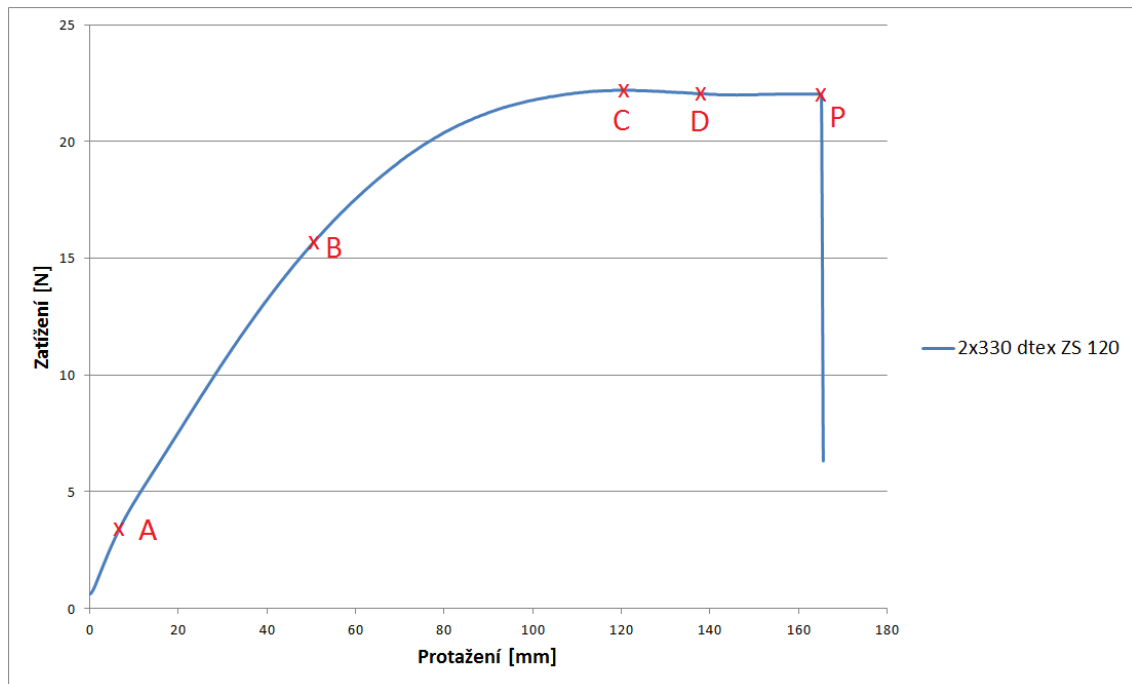


Obrázek 10: Instron 4411 s modulem pro testování přízí [37]

7.1.4 Tahová křivka

Tahová křivka představuje grafické vyjádření chování daného materiálu při tahové zkoušce, prováděné pomocí dynamometru. Uvádí vztah mezi prodloužením a silou a

představuje způsob, jak popsat či porovnat mechanické chování materiálu během celého procesu zatěžování tahem. Příklad tahové křivky je zobrazen na Obrázku 11 [31].



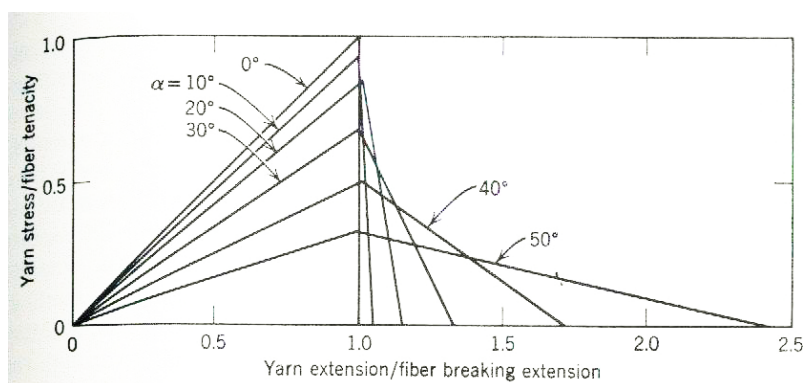
Obrázek 11: Ukázka tahové křivky, konkrétně měření skaného multifilu o jmenovité jemnosti 2x330 dtex, složeného z jednoduchých multifilů se zákruty ve směrech S a Z, o počtu skacích zákrutů $Z = 120 \text{ m}^{-1}$

Na tahové křivce vyobrazené na obrázku X jsou patrné body označené A, B, C, D a P. Bod A představuje mez úměrnosti, do které má tahová křivka lineární průběh a platí tu Hookeův zákon, kdy platí, že deformace je přímo úměrná napětí materiálu. Bod B je mez pružnosti a do této meze platí, že deformace jsou pružné. Po odlehčení se materiál vrací na původní délku. Bod C na tahové křivce reprezentuje mez pevnosti, ve které je zaznamenáno nejvyšší napětí. Bod D představuje mez kluzu, kdy dochází k výrazné deformaci, aniž by došlo k nárůstu napětí. V bodě P dochází k přetrhu materiálu [33].

8 Vliv zákrutu na mechanicko – fyzikální vlastnosti multifilu

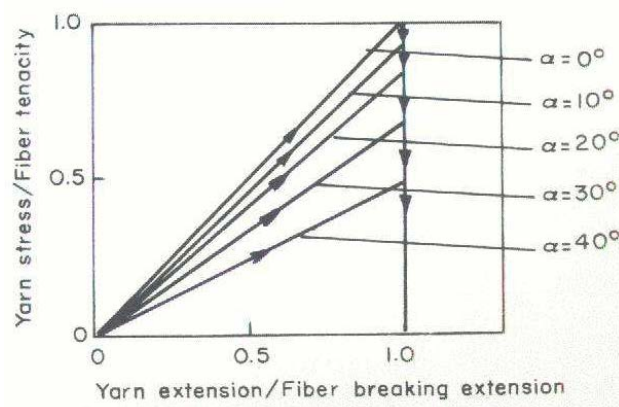
Vliv zákrutu na vlastnosti skaného multifilu není široce zkoumané téma. O něco více prozkoumanou oblastí je vliv zákrutu na mechanicko-fyzikální vlastnosti pouze zakrouceného multifilu. Proto predikce i komparace výsledků bude zaměřena zejména na tuto příbuznou tematiku.

Teoretický předpoklad chování multifilu při ostrém přetrhu se liší dle velikosti zákrutu. V [39] se uvádí, že v případě nízkého zákrutu není zákrut schopný držet jednotlivé fibrily jako celek a dochází tak k postupnému přetrhu jednotlivých fibril. Tahová křivka poté nevykazuje ostrý konec, ale sérii konců, jak je patrné na Obrázku 12. Přetrh vláken se v tomto případě šíří od středu multifilu a to z toho důvodu, že vlákna ve středu mají malý zákrut. Přetrh se tak šíří postupně až ke krajním fibrilám a přerhy jednotlivých fibril jsou zřejmé [39].



Obrázek 12: Neostrý přetrh multifilu s nižším zákrutem [39]

V případě vyššího zákrutu pak dochází ke vzniku koherentních sil mezi fibrilami a dochází k ostrému přetrhu, viz Obrázek 13. Představa tvorby počátku přetrhu, uvedená v [39] vychází z předpokladu nerovnoměrné distribuce napětí v multifilu, kdy bude v místě přetrhu méně materiálu a ten tak nebude schopen odolávat napětí. Z toho důvodu zde bude napětí dosahovat vyšších hodnot, než ve vzdálenějších místech svazku. Celkové napětí se reguluje, vlákna s nižším napětím se musí stahovat a naopak vlákna s vyšším napětím (v místě přetrhu) se musí natahovat. To způsobí šíření přetrhu směrem k okraji multifilu až do celkového přetrhu svazku (viz Obrázek 13) [38, 39].



Obrázek 13: Vyobrazení ostrého přetruhu multifilu s vyšším zákrutem [39]

Dle [39] se předpokládá, že během skaní dojde ke zborcení vnitřních filamentů, a tak dojde k vyšší tažnosti multifilu společně s rostoucím skacím zákrutem. Zároveň se zvyšující se velikostí Koechlinova zákrutového koeficientu se předpokládá nárůst seskání, tím dojde k nahromadění většího množství materiálu v multifilu a zvyšuje se tažnost. Se vzrůstajícím zákrutem pevnost roste, dochází k vyrovnávání slabých míst v jednotlivých fibrilách pomocí sousedních fibril. Při dalším zvyšování zákrutu začíná ale pevnost klesat s tím, že tento pokles je ovlivněn úhlem sklonu fibril vzhledem k ose skaného multifilu, protože síla působící v ose filamentu má odlišný směr od síly působící v ose celého svazku [39].

Výše uvedené částečně potvrzuje Kajanovič [38], který prováděl měření zakrouceného polyesterového a polypropylenového multifilu a vliv zákrutu na některé jejich vlastnosti. V případě polyesterového multifilu potvrdil chování, kdy s rostoucím zákrutem nejprve dochází k nárůstu pevnosti, ale s přibývajícím zákrutem, uvádí od hodnoty Koechlinova zákrutového koeficientu $\alpha = 64,16 \text{ ktex}^{1/2}\text{m}^{-1}$, dochází k opětovnému poklesu pevnosti multifilu. V případě polypropylenu také zaznamenal nárůst pevnosti, ovšem s vyšší variabilitou měření, než v případě polyesteru. Potvrzuje také předpoklad, že se zvyšujícím se zákrutem polyesterového multifilu roste jeho tažnost. Měření tažnosti polypropylenu ale neodpovídalo předpokladu a polypropylenové multifily vykazovaly vysokou variabilitu tažnosti, kterou Kajanovič [38] vysvětluje dodlužováním multifilu již během přípravy na zákrutoměru.

V článku [40] zkoumal kolektiv autorů vliv zákrutu na vybrané vlastnosti multifilu. Stejně jako v případě Kajanoviče [38], se jednalo o polyesterový multifil a polypropylenový multifilament. Došli k výsledku, že pevnost obou zkoumaných multifilů klesá společně se zvyšujícím se zákrutem, konkrétně bylo toto chování

zaznamenáno od úrovně Koechlinova zákrutového koeficientu $\alpha = 54 \text{ ktex}^{1/2}\text{m}^{-1}$. Potvrzují předpoklad, že se vzrůstající velikostí zákrutu roste tažnost multifilu. To bylo v tomto případě pozorováno do úrovně Koechlinova zákrutového koeficientu $\alpha = 100 \text{ ktex}^{1/2}\text{m}^{-1}$. Stejně jako v [39], zdůvodňují toto chování naddodávkou materiálu vlivem seskání. Zároveň zmiňují, že při vyšších úrovních Koechlinova zákrutového koeficientu zůstává již tažnost prakticky konstantní [40].

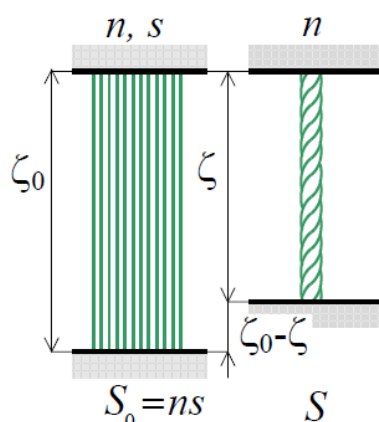
Hajská v [41] zkoumala vliv Koechlinova zákrutového koeficientu skaného multifilového hedvábí na mechanicko-fyzikální vlastnosti, konkrétně na poměrnou pevnost a tažnost. V rámci experimentu testovala dvojmo a trojmo skané multifilové nitě ze 100% polyesteru a ze 100% polyamidu 6 s pravosměrným skacím zákrutem. Uvádí, že s rostoucím počtem zákrutů poměrná pevnost skaných multifilů klesá. Toto chování je dle Hajské [41] způsobeno tím, že společně s rostoucí hodnotou Koechlinova zákrutového koeficientu roste také úhel sklonu vláken k ose multifilu a tím dochází k poklesu využití tahové síly vláken v multifilu ve srovnání s nezakrouceným svazkem vláken. Uvádí ale také, že v případě nízkých hodnot Koechlinova zákrutového koeficientu nabývá poměrná pevnost konstantních hodnot, nebo vykazuje mírně rostoucí trend. To Hajská [41] vysvětluje různým navlněním jednotlivých fibril v multifilu. V případě tažnosti došla k závěru, že s rostoucí hodnotou Koechlinova zákrutového koeficientu narůstá také hodnota tažnosti.

Volejník se v [42] zabýval ověřením teoretického vztahu popisujícího tažnost zakrouceného multifilového svaku, který vychází z ideálního šroubovicového modelu, kde nedochází k migraci fibril. Ověřoval také platnost Gegauffova modelu tažnosti zakrouceného multifilu, který předpokládá stoupající trend tažnosti v závislosti na rostoucí hodnotě zákrutu. Materiály použity pro experiment byly polyester, polyamid 6 a viskóza. Gegauffův model nebyl dle Volejníka [42] jednoznačně potvrzen. Například v případě viskózy pozoruje klesající trend tažnosti společně s rostoucí hodnotou zákrutu. Pro elastické multifily, v tomto případě polyester a polyamid 6, uvádí, že s rostoucí hodnotou zákrutu se zvyšuje i jejich tažnost v kombinaci s migrací fibril. Naopak pro plastické multifily, které představuje viskóza, uvádí, že se zvyšujícím se zákrutem se snižuje jejich tažnost v kombinaci s migrací fibril. Jako možný faktor ovlivňující tažnost multifilu uvádí Volejník tvar průřezu vláken. Potvrdil také, že v zakrouceném multifilovém svazku dochází k migraci fibril, t.j. k odklonu fibril od ideálního šroubovicového modelu.

9 Predikce výsledků

9.1 Vliv zákrutu na seskání

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, seskání je vyjádřeno jako poměrné prodloužení nebo zkrácení zakrouceného délkového vlákenného materiálu. Za předpokladu ideálního šroubovicového modelu předpokládáme, že bude docházet k zakrucování svazku rovnoběžných vláken, které je patrné z Obrázku 14, kde ζ_0 [mm] představuje délku svazku před zakroucením, ζ [mm] je délka zakrouceného svazku vláken, n reprezentuje počet vláken, s [mm²] je substanční průřez vláken, S_0 [mm²] je substanční průřez svazku před zakroucením a S [mm²] představuje substanční průřez zakrouceného svazku.



Obrázek 14: Zakrucování svazku rovnoběžných vláken [43]

Pro seskání δ tak platí (16).

$$\delta = \frac{\zeta_0 - \zeta}{\zeta_0} = 1 - \frac{\zeta}{\zeta_0} \quad (16)$$

Seskání lze modelovat prostřednictvím úhlu sklonu vláken. Předpoklad dle Braschlera uvádí, že objem vláken ve svazku se nemění vlivem zakroucení. Pro výpočet objemu vlákenného svazku před zakrucováním V_0 [m³] platí tedy (17) a pro výpočet objemu zakrouceného vlákenného svazku V [m³] platí vztah (18).

$$V_0 = S_0 \zeta_0 = ns \zeta_0 \quad (17)$$

$$V = S \zeta \quad (18)$$

$$V_0 = V \quad (19)$$

Podle Braschlerova předpokladu pak lze vyjádřit seskání rovnicí (21), kde k_n představuje konstantu, pro kterou byl v [43] odvozen vztah (20) na základě ideálního šroubovicového modelu.

$$k_n = \frac{2}{(\pi DZ)^2} \left[\sqrt{1 + (\pi DZ)^2} - 1 \right] = \frac{2 \cos \beta_D}{1 + \cos \beta_D} \quad (20)$$

$$\delta = 1 - \frac{v}{v_0} k_n = 1 - k_n = 1 - \frac{2}{(\pi DZ)^2} \left[\sqrt{1 + (\pi DZ)^2} - 1 \right] \quad (21)$$

Úpravou výrazu, viz (22), lze seskání tedy vyjádřit jako

$$\delta = 1 - k_n = 1 - \frac{2 \cos \beta_D}{1 + \cos \beta_D} = \frac{1 + \cos \beta_D}{1 + \cos \beta_D} - \frac{2 \cos \beta_D}{1 + \cos \beta_D} = \frac{1 - \cos \beta_D}{1 + \cos \beta_D} \quad (22)$$

Po další úpravě dle Braschlera lze seskání vyjádřit jako závislost na sklonu vláken zakrouceného vlákenného svazku (23). Detailní odvození vztahu lze nalézt v [43].

$$\delta = \frac{1 - \cos \beta_D}{1 + \cos \beta_D} = \frac{2 \sin^2\left(\frac{\beta_D}{2}\right)}{2 \cos^2\left(\frac{\beta_D}{2}\right)} = \operatorname{tg}^2 \frac{\beta_D}{2} \quad (23)$$

Z Braschlerova předpokladu, odvozeného pro ideální šroubovicový model, vyplývá, že s rostoucím zákrutem, kdy roste i úhel sklonu vláken β_D v délkové textilii, bude docházet ke zvyšování hodnoty seskání.

9.2 Vliv seskání na jemnost

Vliv seskání na jemnost je nejlépe možné popsat pomocí vztahu (24) pro jemnost skané příze.

$$T_s = nT_j \frac{100}{100 - \delta} \quad (24)$$

Kde T_s [tex] představuje jemnost skaného vlákenného útvaru, n je počet nití, T_j [tex] je jemnost jednoduché délkové textilie a δ [%] představuje seskání. [25]

Z uvedeného teoretického vztahu je možné vyjádřit předpoklad, že hodnota délkové hmotnosti multifilu bude růst společně se zvyšující se velikostí seskání.

9.3 Vliv zákrutu na zaplnění a průměr multifilu

Pro výpočet průměru zakrouceného vlákenného materiálu lze užít vzorec (25), ve kterém T [tex] představuje jemnost, μ [-] je zaplnění a ρ [kgm⁻³] představuje hustotu vlákenného materiálu. Se zvyšující se velikostí zákrutu, se kterou souvisí i rostoucí hodnota zaplnění, se bude snižovat velikost průměru zakrucovaného multifilu. S rostoucím zákrutem se totiž utahují fibrily na obvodu multifilu a stlačují fibrily, které se nacházejí uvnitř multifilu, ty vyplňují prázdná místa a dochází tak ke zvýšení zaplnění a zmenšení průměru multifilu.

$$D = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}} \quad (25)$$

Zaplnění μ vlákenného materiálu lze pro jednoduchý zakroucený multifil vypočítat dle vztahu (27) za použití úhlu sklonu vláken β_D [°], nebo pomocí vzorce (28) za použití seskání δ [%]. Dle [43] platí pro Koechlinův (běžný) zákrutový koeficient vztah (26), ze kterého byl odvozen vztah (27). κ ve vztahu (26) představuje intenzitu zákrutu. Vztah (28) byl odvozen na základě šroubovicového modelu v práci [40]. α [ktex^{1/2}m⁻¹] představuje velikost Koechlinova zákrutového koeficientu, δ [%] představuje seskání a ρ [kgm⁻³] je hustota vlákenného materiálu.

$$\alpha = \frac{\kappa\sqrt{\mu\rho}}{2\sqrt{\pi}} = \frac{\text{tg}(\beta_D)\sqrt{\mu\rho}}{2\sqrt{\pi}} \quad (26)$$

$$\mu = \frac{4\pi\alpha^2}{\rho \text{tg}^2(\beta_D)1000} \quad (27)$$

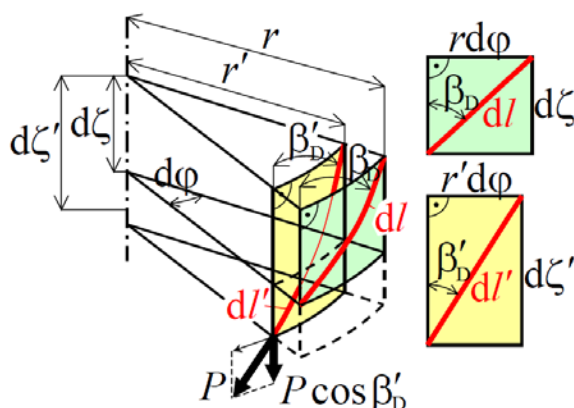
$$\mu = \frac{\pi\alpha^2}{1000\rho} \frac{\left(1 - \frac{\delta}{100}\right)^2}{\left(\frac{\delta}{100}\right)} \quad (28)$$

Ze vztahu (27) lze určit předpoklad, že společně s rostoucí velikostí zákrutu bude docházet ke zvyšování hodnoty zaplnění. V případě, že dojde k výskytu zákrutů druhého řádu, dojde opět k poklesu hodnoty zaplnění.

9.4 Vliv zákrutu na tažnost

Predikce chování tažnosti zakrouceného vlákenného svazku je určována za předpokladu ideálního šroubovicového modelu. Element šroubovicového vlákna, viz Obrázek 15,

o délce dl a úhlu sklonu β_D , se nachází na válcové ploše o poloměru r a definuje elementární obdélník o rozměrech $r d\varphi$ a $d\zeta$, který je na Obrázku 15 vyznačen zeleně. Při prodloužení zakrouceného délkového vláknenného útvaru dojde ke změně poloměru z r na r' a současně také ke změně rozměrů elementárního obdélníku na $r' d\varphi$ a $d\zeta'$. Dojde tak ke změně elementu vlákna na délku dl' a společně s prodloužením se také změní úhel sklonu vlákna na β_D' [45].



Obrázek 15: Působení tahové síly na zakroucený svazek [45]

Pro výpočet velikosti úhlu sklonu β_D před prodloužením platí vztah (29) a pro výpočet úhlu sklonu po prodloužení β_D' platí vztah (30).

$$\operatorname{tg} \beta_D = \frac{r d\varphi}{d\zeta} \quad (29)$$

$$\operatorname{tg} \beta_D' = \frac{r' d\varphi}{d\zeta'} \quad (30)$$

Neckář v [45] uvádí odvození pro poměrné prodloužení svazku ε_a , viz vztah (31) a pro poměrné „prodloužení“ poloměru ε_r , viz vzorec (32).

$$\varepsilon_a = \frac{d\zeta' - d\zeta}{d\zeta} = \frac{d\zeta'}{d\zeta} - 1 \quad (31)$$

$$\varepsilon_r = \frac{r' - r}{r} = \frac{r'}{r} - 1 \quad (32)$$

Pomocí vztahu (31) a (32) lze pak vyjádřit rozměry elementárního obdélníku po prodloužení zakrouceného svazku $d\zeta'$ dle vzorce (33) a r' dle vztahu (34).

$$d\zeta' = (1 + \varepsilon_a) d\zeta \quad (33)$$

$$r' = (1 + \varepsilon_r) r \quad (34)$$

Záporný podíl poměrného „prodloužení“ poloměru ε_r ku poměrnému prodloužení svazku ε_a je označován jako Poissonův poměr příčné kontrakce η . Jedná se tedy o poměr relativního prodloužení útvaru k jejímu relativnímu příčnému zkrácení. Výpočet probíhá dle vzorce (35) [44].

$$\eta = -\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_a} \quad (35)$$

Pro prodloužení vlákna ε_l byl v [45] odvozen vztah (36), ze kterého je po úpravě vyjádřen vztah (37) pro poměr délky vlákna po prodloužení dl' ku délce vlákna před prodloužením dl .

$$\varepsilon_l = \frac{dl' - dl}{dl} = \frac{dl'}{dl} - 1 \quad (36)$$

$$\frac{dl'}{dl} = (1 + \varepsilon_l) \quad (37)$$

Dle Pythagorovy věty platí pro délku vlákna před protažením vztah (38) a pro délku vlákna po protažení tedy vzorec (39). Na základě vzorce (37) je vyjádřen vztah, jehož úpravou, provedenou podrobněji v [45], dojdeme ke vzorci (40), který popisuje vztah mezi poměrným prodloužením vlákna ε_l a prodloužením zakrouceného vlákenného svazku ε_a .

$$d^2l = d^2\zeta + (rd\varphi)^2 \quad (38)$$

$$d^2l' = d^2\zeta' + (r'd\varphi)^2 \quad (39)$$

$$(1 + \varepsilon_l)^2 = \frac{d^2l'}{d^2l} = 1 + 2\varepsilon_a(\cos^2 \beta_D - \eta \sin^2 \beta_D) + \varepsilon_a^2(\cos^2 \beta_D - \eta^2 \sin^2 \beta_D) \quad (40)$$

V případě malého poměrného prodloužení zakrouceného vlákenného svazku ε_a a malého poměrného prodloužení vláken ε_l je možné vyjádřit zjednodušující předpoklad, kdy $\varepsilon_a^2 \rightarrow 0$ a $\varepsilon_l^2 \rightarrow 0$. Pro vztah (40) poté platí vzorec (41).

$$\varepsilon_l = \varepsilon_a(\cos^2 \beta_D - \eta \sin^2 \beta_D) \quad (41)$$

Vztah (41) byl odvozen již Gegauffem a to pro hodnotu Poissonova poměru příčné kontrakce $\eta = 0$. Gegauffem odvozený vztah má pak podobu (42) [45].

$$\varepsilon_l = \varepsilon_a \cos^2 \beta_D \quad (42)$$

Za účelem zjednodušení predikce tažnosti zakrouceného multifilu se předpokládá, že se v multifilu nacházejí nemigrující vlákna, která jsou zakroucená, mají tedy šroubovicové uspořádání. Součástí předpokladu je dle [39] tvrzení, že vlákna na vnějším poloměru multifilu jsou pod větším tlakem, protože sledují delší dráhu, než vlákna, která se nachází ve středu zakrouceného svazku, která jsou rovná, a tak nejsou pod tlakem.

Může tedy dojít k jedné ze dvou extrémních situací. V prvním případě jsou vlákna dokonale elastická. Fibrily, které se nacházejí na vnějším obvodu multifilu se smršťují na takovou délku, kterou měly před zakroucením, a tím dojde ke zborcení či zacuchání centrálních vláken multifilu. Ve druhém případě se jedná o vlákna, která jsou dokonale plastická, a tak nedojde k žádnému smrštění vláken po zakroucení, stejně tak nedojde ke zborcení nebo zacuchání centrálních fibril, ale všechna vlákna zůstanou ve zdeformovaném stavu vlivem zákrutu [39].

Z předpokladu první varianty tedy vyplývá, že vlákna, která se nacházejí ve středu multifilu jsou méně namáhána, než vlákna, která se nachází na jeho vnějším obvodu. K iniciaci přetrhu dochází vlivem porušení vnějších vláken. Tažnost multifilu tak odpovídá prodloužení vláken na vnějším obvodu multifilu [39].

V případě druhé varianty bude tlak způsobený zakrucováním rozdělen rovnoměrně v celém průřezu zakrucovaného multifilu. Tím dojde, po uvolnění, ke kombinaci seskání multifilu a plastické deformace. Zatímco seskání multifilu způsobí zborcení centrálních filamentů a s tím související vyšší tažnost multifilu, plastické deformace způsobí nižší tažnost multifilu. Výsledná tažnost pak závisí na elastických vlastnostech vláken [39].

9.5 Vliv zákrutu na pevnost

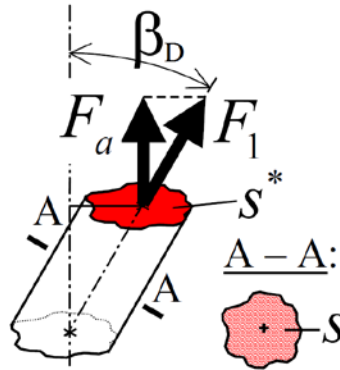
Hearle, Grosberg a Backer uvádí v [39], že pevnost multifilu bude nejprve společně se zvyšujícím se zákrutem růst, protože bude docházet k vyrovnávání slabých míst jedné fibrily prostřednictvím sousedních fibril. Poté ale dojde k poklesu pevnosti multifilu, který je způsobený sklonem fibril vůči ose svazku vlivem udílení dalších zákrutů. Důvodem je změna směru tahové síly, která působí na fibrilu, vůči směru tahové síly, která působí na zakroucený svazek vláken.

Za předpokladu, že tahová pracovní křivka bude mít lineární průběh, je možné tahové napětí vyjádřit pomocí vztahu (43)

$$\sigma = E \varepsilon_l \quad (43)$$

Kde σ [Pa] představuje tahové napětí ve vlákne, ε_l je prodloužení vlákna a E reprezentuje Youngův modul pružnosti.

Sílu F_l [N], působící ve směru osy fibrily, lze popsat pomocí vztahu (44) a složku této síly F_a [N], která působí ve směru osy zakrouceného svazku vláken, je možné popsat vzorcem (45). s [μm^2] představuje plochu řezu vlákna kolmo na osu vlákna a s^* [μm^2] je plocha řezu vlákna kolmo na osu zakrouceného svazku vláken, jak je znázorněno na Obrázku 16. Plocha řezu s^* se počítá pomocí vztahu (46).



Obrázek 16: Síly působící na fibrilu a svazek fibril [45]

$$F_l = \sigma s = E \varepsilon_l s \quad (44)$$

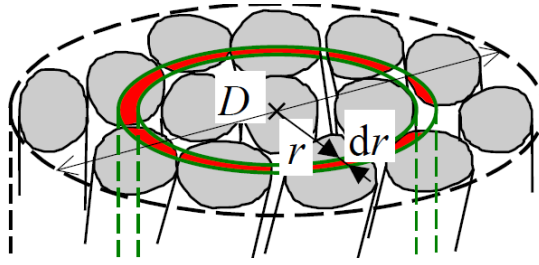
$$F_a = F_l \cos \beta_D = E \varepsilon_l s \cos \beta_D \quad (45)$$

$$s^* = \frac{s}{\cos \beta_D} \quad (46)$$

Pomocí vzorce (46) lze poté vyjádřit normálové napětí na řezné ploše vlákna σ_a [Pa] (na obrázku X se jedná o šikmou řeznou plochu vzhledem k ose vlákna), a to vztahem (47), který je odvozen ve [39].

$$\sigma_a = E \varepsilon_a (\cos^4 \beta_D - \eta \sin^2 \beta_D) \quad (47)$$

Výpočet osové síly P [N] je založen na integrálu (součtu) všech přínosů osových sil jednotlivých diferenciálních mezikruží multifilu, viz Obrázek 17. Pro plochu diferenciálního mezikruží byl v [1] odvozen vztah (48) a pomocí něj je možné spočítat celkový přínos osové síly dle vzorce (49).



Obrázek 17: Diferenciální mezikruží multifilů [43]

$$dS_c = 2\pi r dr \mu \quad (48)$$

$$P = \int_0^{\frac{D}{2}} \sigma_a dS \quad (49)$$

Dosažením vztahů (47) a (48) do vztahu (49) lze osovou sílu v zakrouceném svazku P [N] popsat vztahem (50). Další úpravou, která je podrobně uvedena v [3], vznikne pro osovou sílu v zakrouceném svazku vztah (51).

$$P = 2\pi\mu E \varepsilon_a \int_0^{\frac{D}{2}} (\cos^4 \beta_D - \eta \sin^2 \beta_D) r dr \quad (50)$$

$$P = 2\pi\mu E \varepsilon_a \left(\frac{D}{2}\right)^2 \left[(1 + \eta) \cos^2 \beta_D + \eta \frac{\ln \cos^2 \beta_D}{\operatorname{tg}^2 \beta_D} \right] \quad (51)$$

V případě nezakrouceného svazku vláken o stejné jemnosti a stejném substančním průřezu S [mm], jako má zakroucený svazek, je nutné pro dosažení stejného poměrného prodloužení svazku ε_a působit na svazek tahovou silou P^* [N], pro kterou platí vztah (52).

$$P^* = \sigma_a S = \pi\mu E \varepsilon_a \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (52)$$

Výpočet pevnosti zakrouceného hedvábí se poté provede za využití pevnosti vláken, pomocí které je vypočtena pevnost nezakrouceného hedvábí P^* a výsledná hodnota je násobena využitím pevnosti vláken φ [%], pro kterou platí vztah (53) a která představuje vliv zákrutu na sklon vláken.

$$\varphi = \frac{P}{P^*} = (1 + \eta) \cos^2 \beta_D + \eta \frac{\ln \cos^2 \beta_D}{\operatorname{tg}^2 \beta_D} \quad (53)$$

9.6 Chování skaného multifilu

Výše uvedené předpoklady vycházejí z ideálního šroubovicového modelu a popisují tak předpokládané chování zakrouceného jednoduchého multifilu.

V případě skaného multifilu, který je složen ze dvou jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z, dojde nejprve k parciálnímu rozkroucení jednoduchých multifilů vlivem udílení skacího zákrutu ve směru S. Díky tomu dojde nejprve k uvolnění sevření fibril ze stavu, v jakém byly v multifilu uloženy po udělení ochranného zákrutu. Společně se zvyšujícím se počtem skacích zákrutů bude docházet k opětovnému utahování fibril jednoduchých multifilů. Zároveň se fibrily jednoho z jednoduchých multifilů dostanou v místě styku obou jednoduchých multifilů do pozic mezi fibrily druhého jednoduchého multifilu, kde budou schopny doplnit případná slabá místa. Vzhledem k tomu, že oba jednoduché multifily mají stejný směr zákrutu, předpokládá se, že jejich chování bude během zvyšujícího se počtu skacích zákrutů stejné. Lze tedy předpokládat, že pevnost multifilů bude nabývat nižších hodnot, než pevnost jednoduchého multifilu o stejné jemnosti. Důvodem je již zmíněné počáteční částečné rozkroucení jednoduchých multifilů. Hodnoty tažnosti by měly být nejprve nižší, než v případě jednoduchého multifilu o stejné jemnosti, protože díky prvotnímu částečnému rozkroucení multifilů bude u skaných multifilů o nízkém počtu skacích zákrutů menší množství fibril, které by se mohly napřímít. To se týká zejména skaného multifilu s nejnižším technologicky možným počtem skacích zákrutů. Hodnoty tažnosti budou s rostoucím počtem skacích zákrutů růst, ale předpokládá se, že budou všeobecně nabývat nižších hodnot, než v případě jednoduchého zakrouceného multifilu o stejné jemnosti.

Skaný multifil, který je složený z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru S a Z bude mít chování odlišné. Předpokládá se, že díky udílení skacího zákrutu o směru S bude ze začátku docházet k částečnému rozkroucování jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru Z, zatímco u jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru S bude docházet k dodatečnému zakroucování. Předpokládá se, že pevnost multifiliu bude nabývat nižších hodnot, než pevnost jednoduchého multifilu o stejné hodnotě délkové hmotnosti. Mělo by k takovému chování docházet i přes částečné rozkroucení multifilu se zákrutem ve směru Z. Předpokládá se totiž, že nejprve se začnou trhat fibrily jednoduchého multifilu, který má zákrut ve směru S a u kterého počet zákrutů společně se skáním dodatečně narostl. Naopak tažnost by měla nabývat vyšších hodnot, než

tažnost jednoduchého multifilu o stejné jemnosti a to opět díky jednoduchému multifilu, který má udělen zákrut ve směru S, a to z důvodu naddodávky materiálu. Zároveň je jednoduchý multifil se zákrutem ve směru Z seskán s jednoduchým multifilem o zákrutu ve směru S poněkud volněji. Zatímco na dvouzákrutovém skacím stroji jsou oba multifily přiváděny ke skaní ve stejném množství, během skaní dochází ke zkracování jednoduchého multifilu s ochranným zákrutem ve směru S vlivem seskání. Zároveň se ale ze stejného důvodu prodlužuje jednoduchý multifil opatřený ochranným zákrutem ve směru Z.

10 Statistické zpracování dat získaných z experimentu

10.1 Normalita a homogenita

Naměřená data z experimentu byla statisticky zpracována pomocí programu QC Expert. Tento program byl využit zejména pro posouzení normality a homogenity experimentálně získaných dat a pro vyřazení vybočujících měření.

Než dojde k dalšímu zpracování dat, je nutné zajistit, že soubor dat má normální rozdělení. To je charakterizováno střední hodnotou μ a rozptylem σ^2 . Funkcí těchto dvou parametrů je Gaussova křivka, která je osově symetrická. Střední hodnota leží pod jejím vrcholem. Symetrie křivky vypovídá o tom, že data jsou vychýlena pod i nad střední hodnotu a budou vycházet zhruba stejně často. [34]

Pro ověření normality jsou prováděny testy normality, které mohou být reprezentovány grafickými metodami. Mezi ně patří Q-Q graf, P-P graf, nebo histogram. Pro zjištění normality souboru dat lze také využít řadu testů jako Shapiro-Wilkův test nebo Kolmogorov-Smirnovův test. [35]

Ověření homogenity dat spočívá v tom, že se hledají vybočující data, kterou jsou následně vyřazena z výběru. Vybočující data lze nalézt například pomocí box plotu. Box plot je způsob vizualizace numerických dat pomocí jejich kvartilů. Hledají se odlehlé hodnoty, které leží mimo boxplot a ty je možné vyřadit.

10.2 Aritmetický průměr

Aritmetický průměr je nejčastěji použitou charakteristikou polohy zahrnující všechny měření. Jedná se o součet všech hodnot, které jsou poděleny jejich celkovým počtem. Pro výpočet aritmetického průměru se zpravidla používá vzorec (54) [36].

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n x_i \quad (54)$$

Kde \bar{x} je aritmetický průměr, n reprezentuje počet hodnot a x_i jsou jednotlivé hodnoty měření.

10.3 Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka představuje ukazatel rozptýlení naměřených hodnot od střední hodnoty. Jedná se o kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od aritmetického průměru. Pro její výpočet lze užít vzorec (55). [35]

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (55)$$

Kde s představuje směrodatnou odchylku, n reprezentuje počet hodnot a x_i jsou jednotlivé hodnoty měření.

10.4 Variační koeficient

Variační koeficient v [%] je definován jako podíl směrodatné odchylky s a aritmetického průměru \bar{x} . Jedná se o jednoho z ukazatelů variability. Dle [49] vypovídá o relativním významu průměrné odchylky od aritmetického průměru. Zpravidla se vyjadřuje v procentech a udává, kolik procent průměru představuje směrodatná odchylka. Variační koeficient je nejvhodnějším ukazatelem variability [49].

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (56)$$

10.5 95% interval spolehlivosti

Interval spolehlivosti představuje nejčastěji intervalový odhad střední hodnoty (aritmetického průměru). Je reprezentován množinou všech možných průměrů a jedná se tak o interval, ve kterém se s předepsanou přesností 95% nachází střední hodnota souboru dat. Pro výpočet intervalu spolehlivosti je použit vztah (57). [49]

$$IS_{95\%} = \bar{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2}, (n-1)} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (57)$$

Kde $IS_{95\%}$ je 95% interval spolehlivosti, \bar{x} představuje aritmetický průměr, $t_{\frac{\alpha}{2}, (n-1)}$ je kvantil Studentova t-rozdělení pro hladinu významnosti $1 - \frac{\alpha}{2}$ a $(n-1)$ stupňů volnosti, s představuje směrodatnou odchylku a n je počet hodnot.

10.6 Párový korelační koeficient

Pomocí párového korelačního koeficientu $\rho_p(\xi_i; \xi_j) = R_{ij}$ se vyjadřuje míra lineární stochastické vazby mezi dvěma náhodnými veličinami ξ_i a ξ_j . ρ_p představuje populační párový korelační koeficient. Pomocí výběru o počtu dat n je možné provést odhad výběrového korelačního koeficientu R a to pomocí vztahu (58).

$$R = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}} \quad (58)$$

Kde x_{1i} představuje data první náhodné veličiny a \bar{x}_1 představuje její aritmetický průměr, obdobně x_{2i} reprezentuje data druhé náhodné veličiny a \bar{x}_2 je aritmetický průměr druhé náhodné veličiny [50].

Pro testování nezávislosti mezi dvojicí náhodných veličin je dle [50] využito testů významnosti výběrového párového korelačního koeficientu R . Vychází se z předpokladu, že testační statistika, která se používá při konstrukci testu významnosti, viz vztah (59), má pro případ $\rho_p = 0$ Studentovo rozdělení s $n - 2$ stupni volnosti. Je testována hypotéza $H_0: \rho_p = 0$ proti různým alternativním hypotézám H_A .

$$t = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad (59)$$

Jestliže vyjde hodnota testační statistiky $|t|$ z rovnice (59) vyšší než kvantil Studentova rozdělení pro $n-2$ na stejné hladině významnosti, dochází k zamítnutí nulové hypotézy a

veličiny nejsou nekorelované. Výše popsaný test platí pouze pro testování dvourozměrné normality [50].

Experimentální část

V experimentální části jsou uvedeny pracovní postupy, které byly využity během experimentálních měření, společně s vyhodnocením a zdůvodněním výsledků, a také jejich komparací vůči v literatuře uvedeným a teoreticky zjištěným předpokladům.

Cílem práce bylo zjištění vlivu zákrutu na zejména jednoduchý zakroucený multifil o jmenovité jemnosti 660 dtex a skané multifily, skládající se ze dvou jednoduchých multifilů o jmenovitých jemnostech 330 dtex každý, se směry zákrutů S a Z pro první skaný multifil, a Z a Z pro druhý skaný multifil. Součástí práce poté byla komparace výsledků pro jednotlivé skané multifily a jednoduchý zakroucený multifil. V rámci práce byl také na základě modelu konstruován průběh zaplnění jednoduchého zakrouceného multifilu v závislosti na velikosti zákrutu. Dále byl ověřován model využití pevnosti vláken v zakrouceném svazku.

Před započítím zkoumání mechanicko–fyzikálních vlastností bylo nutné ověřit geometrické vlastnosti jednotlivých multifilů. Byla tedy provedena ověření počtu fibril v multifilu, jemnosti a počtu zákrutů. Byl měřen úhel sklonu povrchových vláken vůči ose jednoduchého a skaného multifilu, pomocí kterého bylo možné provést výpočet zaplnění a následně teoretického průměru multifilů. Průměr multifilů byl také experimentálně zjišťován společně s variabilitou průměru.

Měření probíhalo za standardních klimatických podmínek, které odpovídají $20 \pm 2^\circ\text{C}$ a $65 \pm 2\%$ relativní vlhkosti vzduchu. Výsledky měření byly statisticky zpracovány. Byla ověřena normalita a homogenita dat, byl vypočten aritmetický průměr dle vztahu (54), variační koeficient dle vztahu (56) a 95% interval spolehlivosti střední hodnoty dle vztahu (57).

11 Charakteristika použitého materiálu

Za účelem experimentu byl použit hladký polypropylenový multifil o jmenovité jemnosti 330 dtex, který byl tvořen 64 fibrilami a multifil jmenovité jemnosti 660 dtex složený ze 132 fibril. Aby byla zajištěna alespoň minimální soudržnost fibril nezakrouceného multifilu, a aby bylo technologicky možné multifily vyrobit, byly výrobcem multifily zpevněny minimálním možným provířením o velikosti 5 m^{-1} .

Z hladkého multifilu o jemnosti 330 dtex byl připraven zakroucené multifil se směrem zákrutu S a počtem zákrutů 120 m^{-1} , a zakroucený multifil se směrem zákrutu Z a počtem zákrutů 120 m^{-1} . Tento zákrut představuje ochranný zákrut multifilu používaný při tkaní. Hodnota byla volena vzhledem k technologickým možnostem dvouzákrutového skacího stroje, na kterém bylo skaní realizováno.

Výše uvedené zakroucené multifily byly před skáním druženy na družicím stroji SSM a poté zakrucovány na dvouzákrutovém skacím stroji firmy Volkmann. Skaným multifilům byl udělen zákrut ve směru S s rozsahem počtu zákrutů od 120 m^{-1} do 720 m^{-1} . V Tabulce 1 je uveden rozpis skaní společně s velikostí jmenovitého zákrutu.

Na dvouzákrutovém skacím stroji tak byly připraveny dvě skupiny skaných multifilů. První skupina multifilů je složena z jednoho jednoduchého multifilu o zákrutu ve směru S a počtem zákrutů 120 m^{-1} a jednoho multifilu o zákrutu ve směru Z s počtem zákrutů 120 m^{-1} . Druhá skupiny multifilů se skládá ze dvou jednoduchých multifilů o zákrutu ve směru Z a počtu zákrutů 120 m^{-1} .

Jednoduchý multifil o jmenovité jemnosti 660 dtex byl přesoukán na družicím stroji SSM na návín vhodný pro skací stroj. Z tohoto jednoduchého multifilu byly připraveny zakroucené multifily o velikostech zákrutu 120 m^{-1} až 720 m^{-1} opět na stejném dvouzákrutovém skacím stroji jako v případě dvojmo skaných multifilů.

Tabulka 1: Sada experimentálních vzorků

Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Zj [m ⁻¹]
33 tex	Hladký		
66 tex			
33 tex	S		120
	Z		120
2x33 tex	Z+S	S	120
			220
			320
			520
			620
			720
2x33 tex	Z+Z	S	120
			220
			320
			520
			620
			720
66 tex	S		120
			220
			320
			520
			720

12 Ověření geometrických vlastností předlohy

12.1 Počet a tvar fibril ve vlákenném svazku

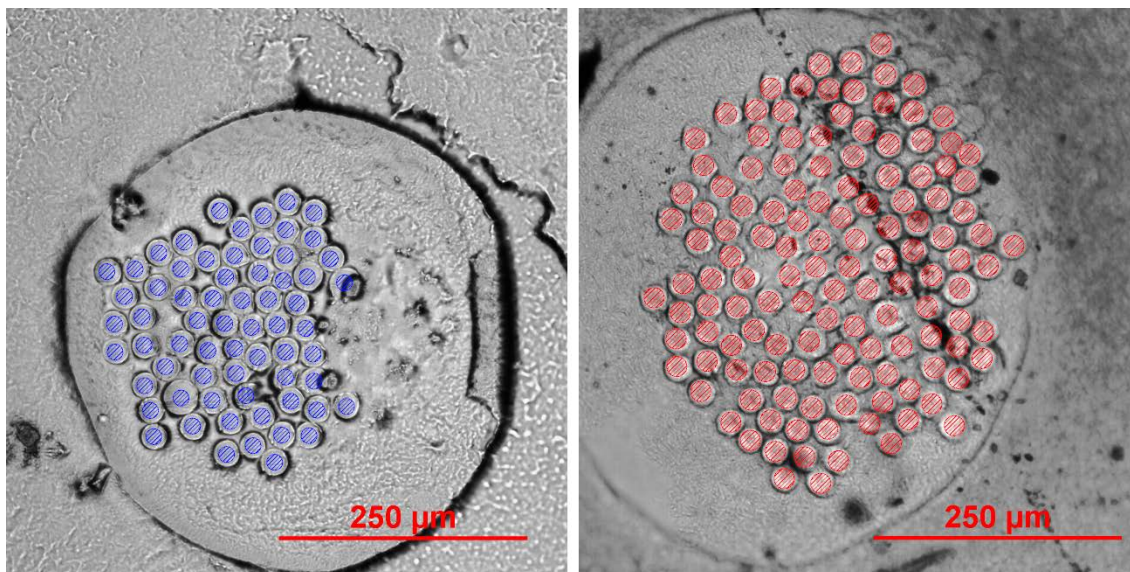
Aby bylo možné korektně vyhodnotit provedená měření, bylo nejprve nutné ověřit geometrické vlastnosti vstupního materiálu. Jako první tak proběhlo ověření počtu fibril ve vlákenném svazku o jmenovitých jemnostech 330 dtex a 660 dtex.

Ověření bylo provedeno pomocí měkkých řezů a obrazové analýzy. Z každé kategorie byly vybrány vzorky multifilů, viz Tabulka 2, zpravidla se jednalo o multifily s nejnižší a s nejvyšší hodnotou uděleného jmenovitého zákrutu. Každý ze vzorků byl postupně namočen do tří vrstev lepidla a po řádném zaschnutí byly vzorky zality do parafínu. Po vytuhnutí vosku byly vzorky umístěny do mrazícího boxu a druhý den z nich byly vytvořeny tzv. měkké řezy v souladu s normou [48]. Vychlazené vzorky, zalité do bločků parafínu byly upnuty do čelistí rotačního mikrotomu, a z každého vzorku bylo nařezáno přibližně 50 plátků po 10 μm . Plátky byly nanášeny na podložní sklíčko potřené Xylenem a umístěny pod mikroskop. Při použití většího množství Xylenu docházelo k zneviditelnění vláken v řezu, pravděpodobně díky podobné hodnotě indexu lomu Xylenu a polypropylenu.

Tabulka 2: Seznam vzorků pro měkké řezy

Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Zj [m^{-1}]
33 tex	Hladký		
66 tex			
33 tex	S		120
	Z		120
2x33 tex	Z+S	S	120
			720
2x33 tex	Z+Z	S	120
			720
66 tex	S		120
			720

Počet fibril byl ověřen pomocí grafického programu. Vyhodnocení počtu fibril v předloze je patrné z Obrázku 18. Modře šrafované kruhy představují fibrily multifilu jmenovité jemnosti 330 dtex se zákrutem 120 m^{-1} ve směru Z. Červeně šrafované kruhy představují fibrily multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex se zákrutem 120 m^{-1} ve směru S.



Obrázek 18: Ověření počtu fibril

Pomocí výše uvedené grafické metody bylo spočítáno 66 fibril oproti uvedeným 64 fibrilám v případě multifilů o jmenovité jemnosti 330 dtex. V případě multifilů o jmenovité jemnosti 660 dtex byla grafickou metodou potvrzena přítomnost 132 fibril v průřezu multifilu.

Zároveň s ověřením počtu fibril byl zjištěn tvar fibril. Jedná se o fibrily kruhového průřezu. Zejména v případě vyšších hodnot zákrutů (pozorováno u multifilů se skacím zákrutem 720 m^{-1}) dochází k lehké deformaci průřezu fibril.

12.2 Ověření jemnosti

Měření skutečné jemnosti probíhalo nejprve gravimetrickou metodou, kdy bylo pomocí vijáku odměřeno 100 m multifilu, který byl poté zvážen. Výpočet skutečné jemnosti pak probíhal dle vztahu (1).

Tato metoda se ale projevila jako nespolehlivá, protože v případě multifilů s velikostí jmenovitého zákrutu vyšší než 320 m^{-1} , začínalo již docházet ke smyčkování. Díky tomu nebylo možné pro některé multifily odměřit 100 m materiálu pomocí vijáku, protože docházelo buď k navíjení smyček na viják, nebo k zakroucení smyček odvíjeného multifilu a multifilu, který byl stále na návíně a k následovnému přetrhu odvíjeného multifilu.

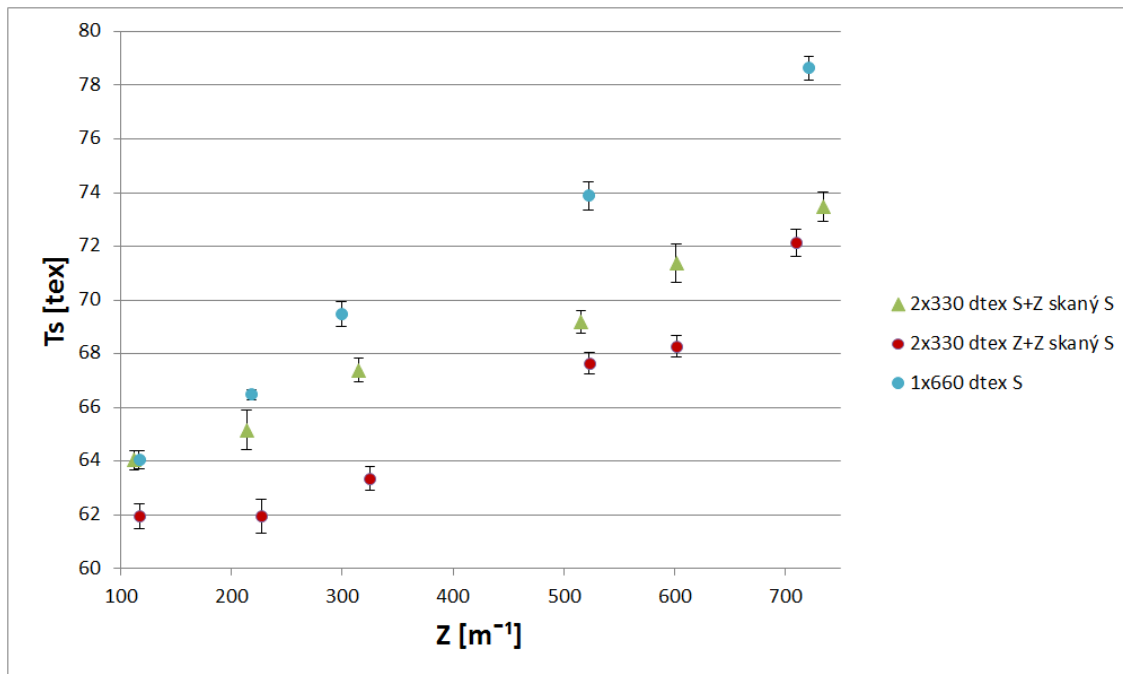
Skutečná jemnost byla tedy zjišťována odměřováním 1 m úseků a jejich vážením. Naměřené hodnoty hmotnosti m [g] byly, stejně jako v předchozím případě, vypočteny dle vztahu (1). Od každého multifilu bylo provedeno 25 měření. Statisticky zpracované hodnoty skutečné jemnosti, stejně jako hodnoty jmenovité jemnosti jsou uvedeny v Tabulce 3 a potvrzují předpoklad, že s rostoucí velikostí zákrutu, dochází také ke zvyšování velikosti seskání, a dochází k nárůstu číselné hodnoty délkové hmotnosti multifilu. Tento rostoucí trend je také patrný z grafu vyobrazeném na Obrázku 19.

Jemnost fibrily byla zjišťována z hladkého multifilu o jemnosti 660 dtex, a to jako podíl ověřené hodnoty skutečné jemnosti multifilu a počtu fibril $n = 132$. Jemnost fibrily tak vyšla 4,97 dtex.

Z Tabulky 3 je patrné, že velikost skutečné délkové hmotnosti hladkých multifilů je vyšší, než velikost skutečné délkové hmotnosti zakrouceného jednoduchého multifilu i skaných multifilů, což se vymyká předpokladu, že s rostoucím počtem zákrutů se zvyšuje i velikost délkové hmotnosti. Toto chování může být způsobeno provířením hladkých multifilů, kdy mohlo během skaní docházet k napřímení zvlněných fibril. Zároveň je možné, že došlo k určitému protažení předlohy vlivem tahových sil působících na multifil během skaní či zakrucování.

Tabulka 3: Skutečná a jmenovitá jemnost

Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Zj [m ⁻¹]	Ts [tex]	95% IS	v [%]
33 tex	Hladký			34,44	< 33,99 ; 34,89 >	3,36
66 tex	Hladký			65,64	< 65,23 ; 66,05 >	1,58
33 tex	S		120	30,96	< 30,65 ; 31,27 >	2,55
	Z		120	31,6	< 31,40 ; 31,80 >	1,58
2x33 tex	Z+S	S	120	64,04	< 63,67 ; 64,41 >	1,46
			220	65,16	< 64,41 ; 65,91 >	2,93
			320	67,4	< 66,98 ; 67,82 >	1,60
			520	69,2	< 68,78 ; 69,62 >	1,56
			620	71,36	< 70,65 ; 72,07 >	2,55
			720	73,48	< 72,92 ; 74,04 >	1,93
2x33 tex	Z+Z	S	120	61,96	< 61,50 ; 62,42 >	1,89
			220	61,96	< 61,34 ; 62,58 >	2,57
			320	63,36	< 62,92 ; 63,80 >	1,76
			520	67,64	< 67,25 ; 68,03 >	1,47
			620	68,28	< 67,88 ; 68,68 >	1,50
			720	72,12	< 71,61 ; 72,63 >	1,80
66 tex	S		120	64,04	< 63,71 ; 64,37 >	1,31
			220	66,48	< 66,28 ; 66,68 >	0,77
			320	69,48	< 69,00 ; 69,96 >	1,77
			520	73,88	< 73,36 ; 74,40 >	1,80
			720	78,64	< 78,19 ; 79,09 >	1,46



Obrázek 19: Grafické znázornění vlivu velikosti zákrutu na jemnost multifílu

12.3 Zákrut

Dalším krokem po ověření počtu a tvaru fibril, ze kterých byly zkoumané multifily složeny, bylo zjištění skutečné velikosti skacích zákrutů skaných multifilů a zákrutů jednoduchých multifilů. V případě skaných multifilů byl ověřován pouze zákrut skací, nikoliv zákruty jednoduchých multifilů, ze kterých jsou skané multifily tvořeny.

Ověřování počtu zákrutů probíhalo na zákrutoměru MESDAN přímou metodou dle normy ČSN EN ISO 2061 [29]. Za předpětí $0,5 \text{ cNtex}^{-1}$ byl rozkroucen $0,5 \text{ m}$ multifilu a to tak, že mezi rozkručené jednoduché multifily skaného multifilu, byla vložena kovová jehlička, kterou bylo kontrolováno, že došlo k rozkroucení multifilů. Z přístroje byl poté odečten počet otáček krutného aparátu nutný k rozkroucení multifilu. Pro každou úroveň zákrutu bylo provedeno 25 měření.

Statisticky zpracované výsledky měření počtu zákrutů jsou uvedeny v Tabulce 4. Pomocí naměřeného skutečného zákrutu a skutečné jemnosti byla vypočtena velikost Koechlinova zákrutového koeficientu podle vztahu (8).

Tabulka 4: Komparace jmenovitého a skutečného zákrutu, hodnoty Koechlinova zákrutového koeficientu

Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Zj [m^{-1}]	Zs [m^{-1}]	95% IS	v [%]	α [$\text{m}^{-1}\text{ktex}^{1/2}$]
33 tex	Hladký						0
66 tex							0
33 tex	S		120	119	< 118,5 ; 119,2 >	0,79	20,90
	Z		120	121	< 120,4 ; 122,0 >	1,65	21,50
2x33 tex	Z+S	S	120	112	< 111,1 ; 113,5 >	2,70	28,35
			220	214	< 213,2 ; 214,4 >	0,71	54,45
			320	315	< 313,7 ; 316,2 >	1,04	81,99
			520	516	< 510,4 ; 520,8 >	2,59	135,95
			620	601	< 597,2 ; 605,2 >	1,68	160,64
			720	734	< 728,6 ; 739,6 >	1,90	199,26
2x33 tex	Z+Z	S	120	117	< 116,2 ; 118,1 >	2,07	29,30
			220	227	< 225,9 ; 228,7 >	1,56	56,70
			320	325	< 323,3 ; 327,3 >	1,58	81,90
			520	523	< 520,7 ; 525,2 >	1,08	135,80
			620	602	< 596,3 ; 607,0 >	2,26	157,17
			720	710	< 706,3 ; 713,3 >	1,26	191,19
66 tex	S		120	117	< 114,7 ; 119,0 >	4,61	29,55
			220	218	< 218,0 ; 218,8 >	0,42	56,26
			320	299	< 297,7 ; 300,7 >	1,27	79,04
			520	522	< 521,4 ; 523,4 >	0,46	142,10
			720	721	< 718,1 ; 724,2 >	1,06	201,93

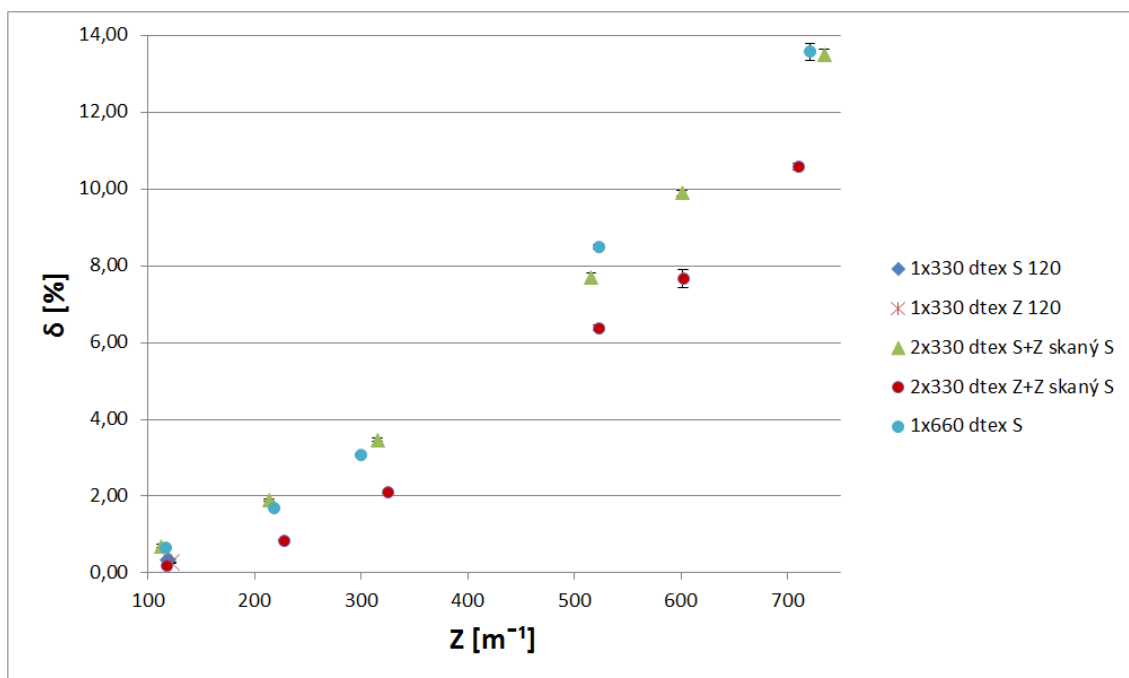
Odchylka skutečného zákrutu od zákrutu jmenovitého dosahuje maximálně 6,4 % v případě multifilu skaného z jednoduchých multifilů se směry zákrutu Z a S a počtem zákrutů 120 m^{-1} . V případě ostatních zákrutů se většinou odchylka pohybuje pod

hranicí 2 %. Odchylna naměřeného skutečného zákrutu vůči jmenovitému zákrutu může být vysvětlena například prokluzy hnacího řemenu skacího stroje či technologickými možnostmi stroje.

12.2.1 Seskání

V rámci měření zákrutů byla na zákrutoměru také odečítána velikost prodloužení po rozkroucení. Ta byla poté využita k výpočtu seskání jednotlivých multifilů dle vztahu (10). Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce v Příloze 1.

Bylo předpokládáno, že společně se zvyšujícím se zákrutem bude také stoupat hodnota seskání, tento rostoucí trend je patrný i z experimentálně zjištěných hodnot seskání a je v grafické podobě vyjádřen na Obrázku 20.



Obrázek 20: Grafické znázornění vlivu zákrutu na seskání multifilů

Jak je z grafu na Obrázku 20 patrné, hodnoty seskání odpovídající zakroucenému multifilů o jmenovité jemnosti 660 dtex a skanému multifilů, který se skládá z jednoduchých multifilů se zákruty ve směrech S a Z nabývají podobných hodnot, zatímco skaný multifil složený z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z dosahuje nižších hodnot. Tento jev je pravděpodobně způsoben tím, že skací zákrut má směr S a tak dochází nejprve k částečnému rozkroucení jednoduchých multifilů během skaní. Dalším vysvětlením rozdílných hodnot seskání skaných multifilů

složených z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru S a Z oproti skaným multifilům tvořených jednoduchými multifily se zákruty ve směru Z a Z, může být rozdílné napětí jednotlivých multifilů i fibril při sdužování a následně i skaní. Dalším faktorem může být již zmíněný rozdíl v seskání jednoduchých multifilů, ze kterých byly připraveny multifily skané.

Seskání je různé i v případě jednoduchého multifilu o jemnosti 330 dtex se $Z = 120 \text{ m}^{-1}$ ve směru S v porovnání s jednoduchým multifilem o jemnosti 330 dtex se zákrutem $Z = 120 \text{ m}^{-1}$ ve směru Z. Důvodem je pravděpodobně rozdílná velikost tahových sil působících na jednotlivé fibrily během zajrucování a různá míra napřímení jednotlivých fibril.

13 Měření průměru

Na přístroji CTT a modulu CTT-YAS proběhlo měření průměru a variability průměru multifilu. Měření pomocí modulu CTT YAS probíhá ve dvou automatizovaných krocích, kdy nejprve je, při rychlosti $100 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ změřen referenční průměr multifilu na 100 m délky materiálu, poté následuje samotné měření velikosti průměru multifilu na 100 m délky při rychlosti $100 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

Statisticky zpracované výsledky měření průměru D [mm] multifilu a variability průměru multifilu CVD [%] jsou uvedeny v Tabulce 5. Vliv počtu zákrutů na průměr multifilu je v grafické podobě uveden na Obrázku 21.

Jak z Tabulky 5, tak i z grafu na Obrázku 21, je patrné, že společně s rostoucím zákrutem dochází nejprve ke zmenšování průměru multifilu. Až do velikosti zákrutu, odpovídající hodnotě 320 m^{-1} včetně, má vliv velikosti zákrutu na velikost průměru multifilu klesající trend. V případě dalšího zvyšování počtu zákrutů, reprezentovaným hodnotami zákrutu 520 m^{-1} a 720 m^{-1} , dochází ke zvětšování velikosti průměru multifilu.

Toto chování lze vysvětlit začínajícím vznikem zákrutů druhého řádu. Zároveň společně se zvyšujícím se zákrutem dochází k posunům fibril v multifilu do volných pozic a stahování vlákněného svazku fibrilami na obvodu multifilu. V momentě, kdy již ale nejsou k dispozici volné pozice pro posun fibril uvnitř multifilu, začne, vlivem zákrutu, docházet k ukládání fibril na povrchu multifilu a tím ke zvětšování průměru multifilu.

Z Tabulky 5 je také patrné, že jednoduché multifily o jmenovité jemnost 330 dtex s počtem zákrutů $Z = 120 \text{ m}^{-1}$ ale s různým směrem zákrutu, mají rozdílný průměr. Příčinou může být províření jednoduchých multifilů. Vzájemná soudržnost jednotlivých fibril není v tomto případě příliš vysoká. Během měření je tak umožněn vzájemný volný pohyb povrchových fibril.

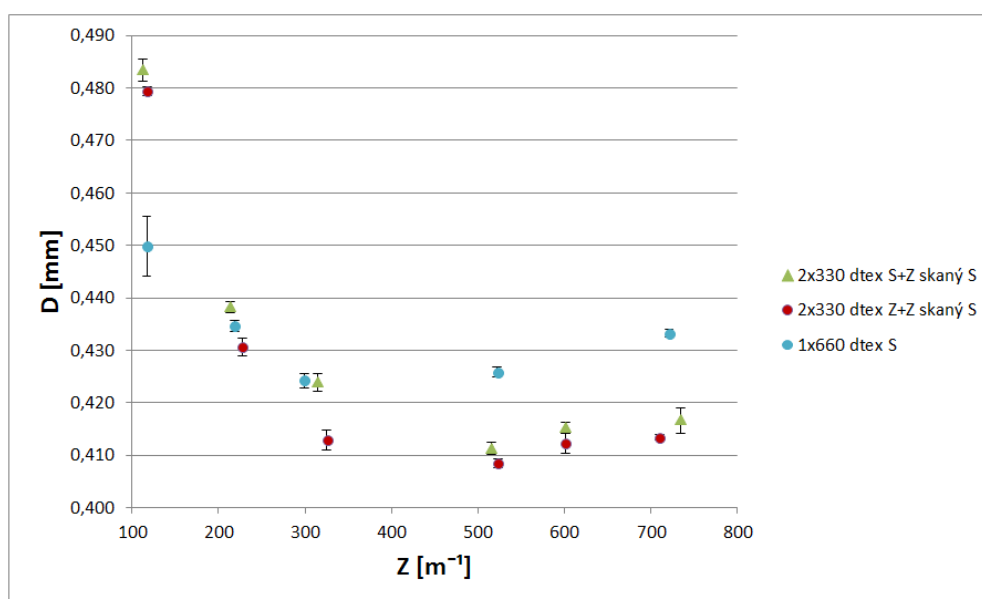
V případech rostoucí velikosti průměru skaných multifilů tvořených jednoduchými multifily se zákruty jak ve směru S a Z, tak ve směru Z a Z je patrné, že pro multifily o počtu zákrutů $Z = 620 \text{ m}^{-1}$ a $Z = 720 \text{ m}^{-1}$ dochází k překryvu 95 % intervalů spolehlivosti. Rozdíly středních hodnot jsou tak statisticky nevýznamné.

95 % intervaly spolehlivosti se překrývají i v případě zakrouceného jednoduchého multifilu o počtu zákrutů $Z = 320 \text{ m}^{-1}$ a $Z = 720 \text{ m}^{-1}$. I v tomto případě se tak nejedná o statisticky významný rozdíl středních hodnot.

Až na výše uvedená měření jsou statisticky zpracované rozdíly středních hodnot statisticky významné, protože nedochází k překryvu 95 % intervalů spolehlivosti.

Tabulka 5: Výsledky měření průměru na přístroji CTT

Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Zj [m^{-1}]	D [mm]	95% IS	v [%]
33 tex	Hladký			0,547	< 0,540 ; 0,555 >	1,54
66 tex				0,723	< 0,716 ; 0,730 >	1,09
33 tex	S		120	0,327	< 0,325 ; 0,329 >	0,67
	Z		120	0,299	< 0,298 ; 0,299 >	0,30
2x33 tex	Z+S	S	120	0,483	< 0,481 ; 0,486 >	0,50
			220	0,438	< 0,437 ; 0,439 >	0,30
			320	0,424	< 0,422 ; 0,425 >	0,45
			520	0,411	< 0,410 ; 0,412 >	0,32
			620	0,415	< 0,414 ; 0,416 >	0,26
			720	0,417	< 0,414 ; 0,419 >	0,67
2x33 tex	Z+Z	S	120	0,479	< 0,479 ; 0,480 >	0,19
			220	0,431	< 0,429 ; 0,432 >	0,42
			320	0,413	< 0,411 ; 0,415 >	0,53
			520	0,408	< 0,408 ; 0,409 >	0,22
			620	0,412	< 0,410 ; 0,414 >	0,53
			720	0,413	< 0,413 ; 0,414 >	0,13
66 tex	S		120	0,450	< 0,444 ; 0,455 >	1,44
			220	0,435	< 0,434 ; 0,436 >	0,26
			320	0,424	< 0,423 ; 0,426 >	0,39
			520	0,426	< 0,425 ; 0,427 >	0,26
			720	0,433	< 0,432 ; 0,434 >	0,19



Obrázek 21: Grafické znázornění vlivu velikosti zákrutu na velikost průměru multifilu

V porovnání se skanými multifily tvořenými jednoduchými multifily o jmenovité jemnosti 330 dtex, vykazuje jednoduchý multifil o jmenovité jemnosti 660 dtex nejprve menší velikost průměru zakrouceného vlákenného svazku. Na rozdíl od skaných multifilů, dochází u jednoduchého multifilu pouze k zakrucování ve směru S, kdy dochází k utahování obvodových a sltačování vnitřních fibril multifilu. Skané multifily, které obsahují i jednoduchý multifil se zákrutem ve směru Z vykazují vyšší průměr vlákenného svazku pravděpodobně proto, že dochází k částečnému rozkrucování jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru Z.

S dalším zakroucením na počet zákrutů $Z = 220 \text{ m}^{-1}$ průměr vykazuje nižší hodnotu, než skaný multifil tvořený jednoduchými multifily se zákruty ve směru S a Z. To může být způsobeno přikrucováním jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru Z kolem jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru S a jeho utahování. Zároveň ale nabývá průměr jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex vyšší hodnotu, než v případě skaného multifilu tvořeného jednoduchými multifily se zákruty ve směru Z a Z, kde pravděpodobně dochází k utahování částečně rozkroucených jednoduchých multifilů a díky tomu vhodnějšímu umístění fibril v rámci skaného multifilu, které může být příčinou menšího průměru, než v případě ostatních multifily.

Při počtu zákrutů $Z = 320 \text{ m}^{-1}$, dochází k vyrovnání velikosti průměru jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex s velikostí průměru skaného multifilu tvořeného dvěma jednoduchými multifily o jmenovité jemnosti 330 dtex a zákruty ve směru S a Z. Pravděpodobně na této úrovni dochází k dalšímu utahování jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru Z kolem jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru S tak, že průměr tohoto skaného multifilu je téměř stejný jako průměr jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex. Průměr skaného multifilu tvořeného dvěma jednoduchými multifily o jmenovité jemnosti 330 dtex a se směry zákrutů Z a Z, je nižší, než průměr ostatních multifilů.

S dále narůstajícím počtem zákrutů je velikost průměru jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex vždy vyšší, než velikost průměru skaných multifilů, tvořených jednoduchými multifily o jmenovité jemnosti 330 dtex. Lze to vysvětlit začínajícím vznikem zákrutu druhého řádu, který se u jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex začíná vyskytovat dříve, než je tomu v případě zkoumaných skaných multifilů.

V případě variability průměru bylo předpokládáno dle [23], že společně s rostoucí velikostí zákrutu bude docházet ke snižování variability průměru v důsledku vyrovnávání velikosti průměru multifilu díky utahování fibril na povrchu multifilu a posunu fibril do volných prostor na povrchu multifilu. Statisticky zpracované výsledky měření variability průměru multifilu jsou patrné jak z Tabulky 6, tak z grafu zobrazeném na Obrázku 22.

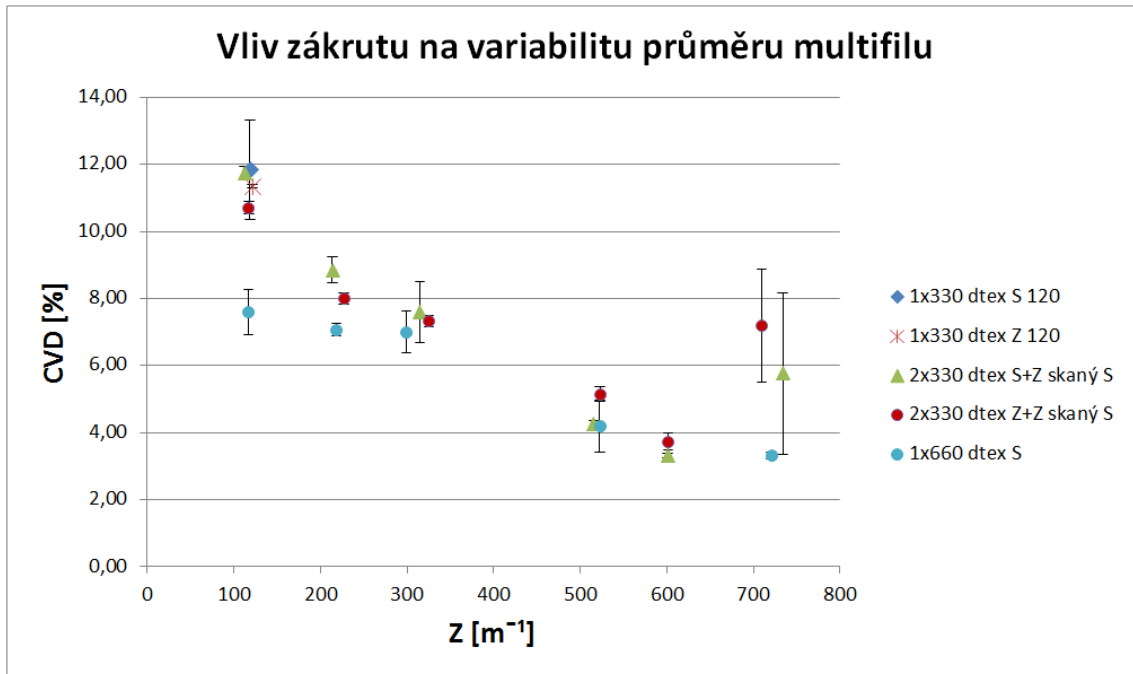
Tabulka 6: Výsledky měření variability průměru na přístroji CTT

Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Zj [m ⁻¹]	CVD [%]	95% IS	v [%]
33 tex	Hladký			13,73	< 13,08 ; 14,38 >	1,54
66 tex				15,11	< 14,55 ; 15,67 >	1,09
33 tex	S		120	11,83	< 10,36 ; 13,31 >	0,67
	Z		120	11,34	< 11,29 ; 11,40 >	0,30
2x33 tex	Z+S	S	120	11,73	< 11,52 ; 11,94 >	0,50
			220	8,85	< 8,46 ; 9,25 >	0,30
			320	7,59	< 6,67 ; 8,51 >	0,45
			520	4,25	< 4,12 ; 4,37 >	0,32
			620	3,32	< 3,26 ; 3,37 >	0,26
			720	5,76	< 3,36 ; 8,17 >	0,67
2x33 tex	Z+Z	S	120	10,71	< 10,52 ; 10,90 >	0,19
			220	7,99	< 7,83 ; 8,16 >	0,42
			320	7,32	< 7,17 ; 7,48 >	0,53
			520	5,15	< 4,93 ; 5,37 >	0,22
			620	3,72	< 3,47 ; 3,98 >	0,53
			720	7,19	< 5,50 ; 8,88 >	0,13
66 tex	S		120	7,60	< 6,93 ; 8,27 >	1,44
			220	7,07	< 6,87 ; 7,26 >	0,26
			320	7,00	< 6,39 ; 7,61 >	0,39
			520	4,20	< 3,43 ; 4,97 >	0,26
			720	3,31	< 3,21 ; 3,40 >	0,19

Jak je patrné již z Tabulky 6, v případě jednoduchého zakrouceného multifilu je potvrzen předpoklad, že s rostoucí hodnotou zákrutu bude docházet ke snižování variability průměru.

Tento předpoklad ale neplatí pro všechny úrovně zákrutu skaných multifilů, jak je vidět jak z výše zmíněné Tabulky 6, tak z níže uvedeného grafu na Obrázku 22. V případě skaných multifilů dochází nejprve ke snižování velikosti variability průměru, a to do velikosti zákrutu 520 m⁻¹. V obou případech, pro skaný multifil, složený ze dvou jednoduchých multifilů se směrem zákrutu Z a S, tak i pro skaný multifil, složený ze dvou jednoduchých multifilů se směry zákrutu Z a Z, platí že se zvýšením

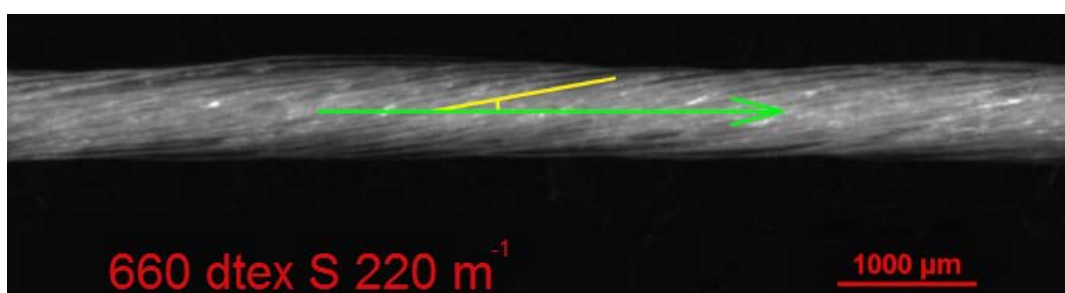
počtu zákrutů na úroveň jmenovitého zákrutu 720 m^{-1} , dochází ke zvýšení variability průměru. Důvodem může být začínající vznik zákrutu druhého řádu a s ním spojené ukládání fibril na povrchu multifilu.



Obrázek 22: Grafické znázornění vlivu zákrutu na variabilitu průměru

14 Úhel sklonu povrchových vláken

Další ze zkoumaných geometrických vlastností, související se zakrucováním vláknenného útvaru, byl úhel sklonu povrchových vláken vůči ose multifilu. Měření probíhalo za pomoci makroskopu a obrazové analýzy. Multifil byl naveden mezi dvě frikční brzdíčky, mezi kterými byl napnut, aniž by docházelo k jeho rozkrucování, tento úsek multifilu byl zobrazen pomocí obrazové analýzy, a byla vyznačena osa multifilu, od které byly odečítány úhly sklonu povrchových vláken. Osa multifilu je na Obrázku 23 vyznačena zeleně, sklon vlákna je vyznačen žlutě. Statisticky zpracované výsledky měření jsou uvedeny v Tabulce 7.

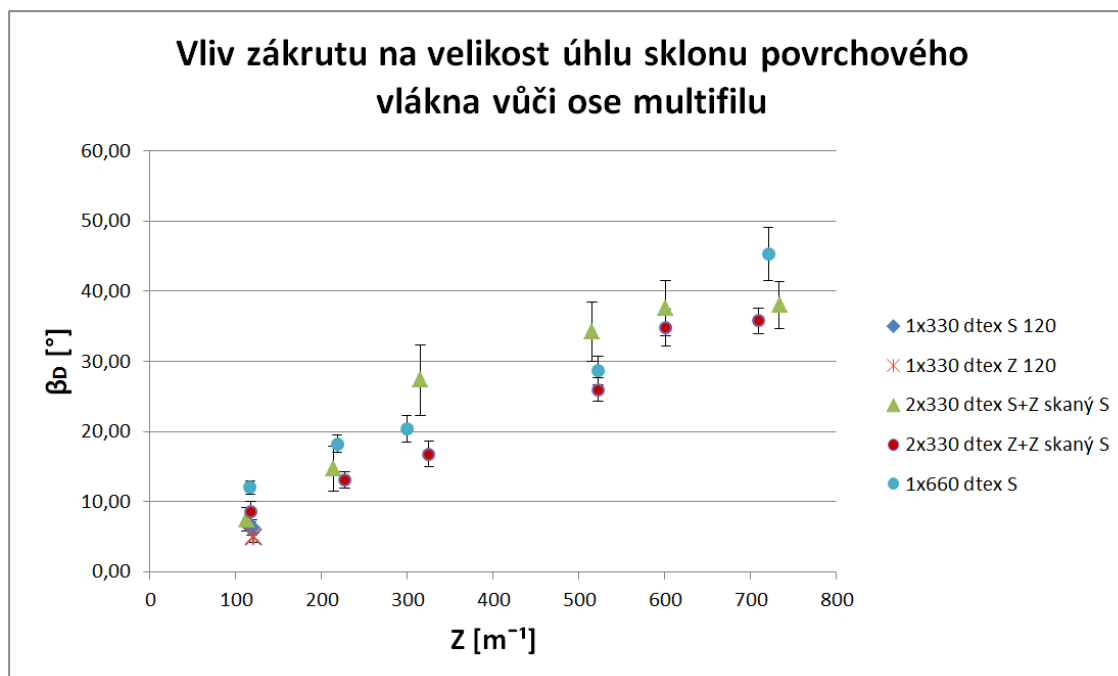


Obrázek 23: Způsob měření úhlu sklonu vlákna na povrchu multifilu

Tabulka 7: Výsledky měření úhlu sklonu povrchových vláken multifilu

Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Z _j [m ⁻¹]	βD [°]	95% IS	v [%]
33 tex	Hladký			0,61	< 0,48 ; 0,74 >	47,89
66 tex				0,93	< 0,61 ; 1,24 >	77,62
33 tex	S		120	6,25	< 5,17 ; 7,33 >	39,44
	Z		120	4,88	< 4,20 ; 5,57 >	31,97
2x33 tex	Z+S	S	120	7,44	< 5,76 ; 9,13 >	51,76
			220	14,68	< 11,43 ; 17,94 >	50,60
			320	27,30	< 22,32 ; 32,27 >	40,53
			520	34,18	< 29,96 ; 38,40 >	28,17
			620	37,57	< 33,57 ; 41,57 >	24,30
			720	38,03	< 34,72 ; 41,34 >	19,86
2x33 tex	Z+Z	S	120	8,55	< 7,14 ; 9,96 >	37,70
			220	13,13	< 11,95 ; 14,31 >	20,52
			320	16,77	< 14,97 ; 18,56 >	23,79
			520	25,97	< 24,28 ; 27,66 >	14,87
			620	34,76	< 32,17 ; 37,35 >	17,01
			720	35,79	< 33,96 ; 37,62 >	11,66
66 tex	S		120	12,01	< 11,10 ; 12,92 >	17,29
			220	18,24	< 16,97 ; 19,50 >	15,82
			320	20,35	< 18,48 ; 22,22 >	21,02
			520	28,68	< 26,57 ; 30,79 >	16,81
			720	45,32	< 41,49 ; 49,14 >	19,26

Z Tabulky 7, i grafu uvedeném níže na Obrázku 24, je patrný vzestupný trend velikosti sklonu úhlu fibril uložených na povrchu multifilu, vůči ose multifilu. Tento výsledek je také doložen níže zobrazenými pohledy, na Obrázku 25 až 45.



Obrázek 24: Grafické zobrazení vlivu zákrutu na velikost úhlu sklonu povrchového vlákna vůči ose multifilu

Zejména z grafu na Obrázku 24 je ale také patrná velká variabilita úhlu sklonu vláken. Vyplývá částečně ze způsobu měření, které je subjektivní a závisí z velké části na konkrétní osobě, která měření provádí, protože tato osoba určuje osu multifilu tak, jak jej vidí pomocí obrazové analýzy.

Největší variabilitu vykazují jednoduché nezakroucené multifily, v případě skaných multifilů pak variační koeficient vykazuje klesající trend s tím, že nejvyšší variabilitu vykazují multifily tvořené jednoduchými multifily se zákruty ve směru S a Z. Zdůvodnění bude uvedeno v následující části.

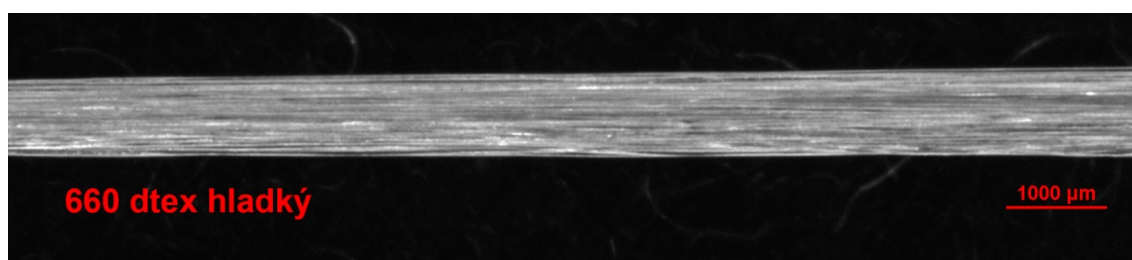
14.1 Podélné pohledy

V rámci zjišťování úhlů sklonu povrchových vláken multifilu vůči jeho ose, byly pořízeny podélné pohledy, a to pomocí obrazové analýzy. Díky podélným pohledům bylo možné pozorovat chování skaných multifilů při různé velikosti zákrutu, stejně tak

jako geometrické změny, které se zakrucováním souvisejí, jako jsou již dříve uvedeny průměr multifilu nebo úhel sklonu povrchových vláken vůči ose multifilu.

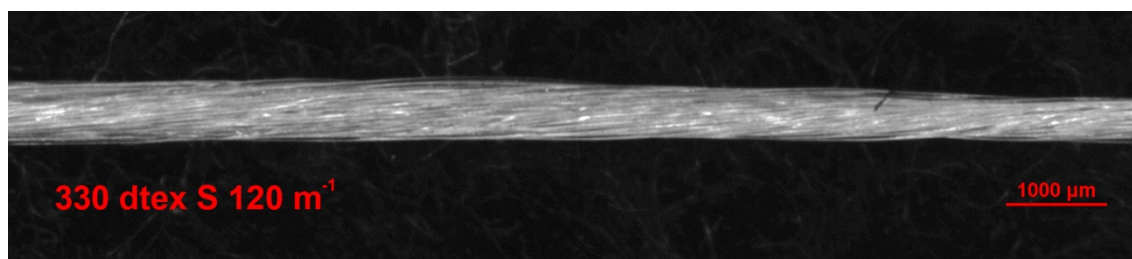


Obrázek 25: Podélný pohled na hladký multifil o jmenovité jemnosti 330 dtex

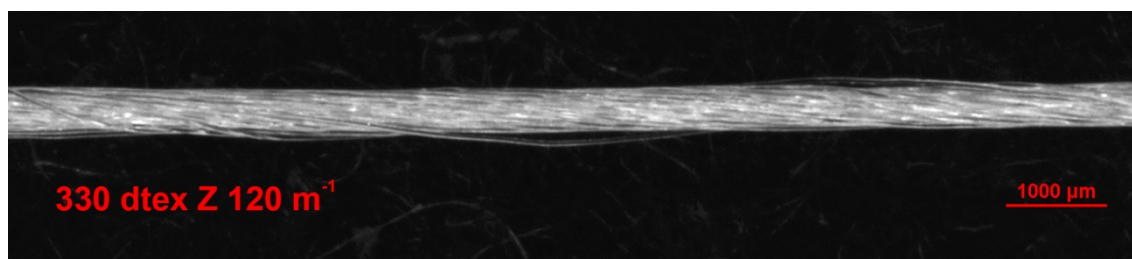


Obrázek 26: Podélný pohled na hladký multifil o jmenovité jemnosti 660 dtex

Jak je patrné z Obrázků 25 a 26, nemají podélné pohledy hladkých nezakroucených multifilů přesnou vypovídací hodnotu, co se týče průměru multifilu. Pravděpodobným důvodem je uložení fibril multifilu jen s technologicky minimální možným počtem províření (5 m^{-1}). Díky tomu se svazek deformuje o podkladovou destičku při tvorbě podélných pohledů.

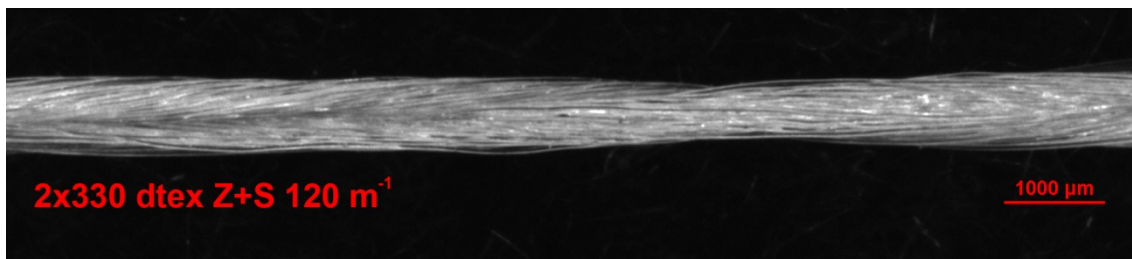


Obrázek 27: Podélný pohled na multifil se směrem zákrutu S a $Z = 120 \text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 330 dtex

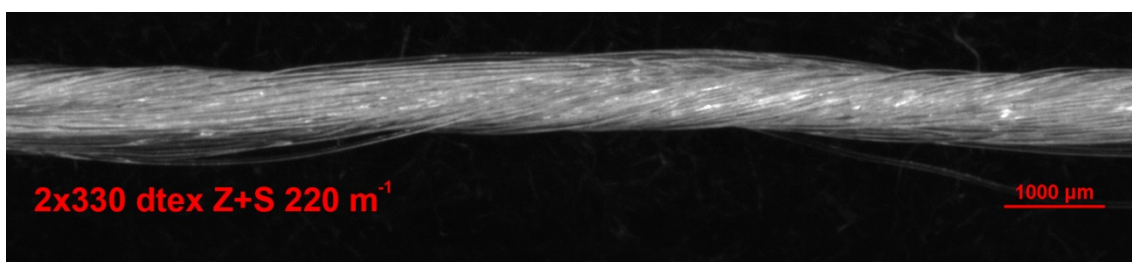


Obrázek 28: Podélný pohled na multifil se směrem zákrutu S a $Z = 120 \text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 330 dtex

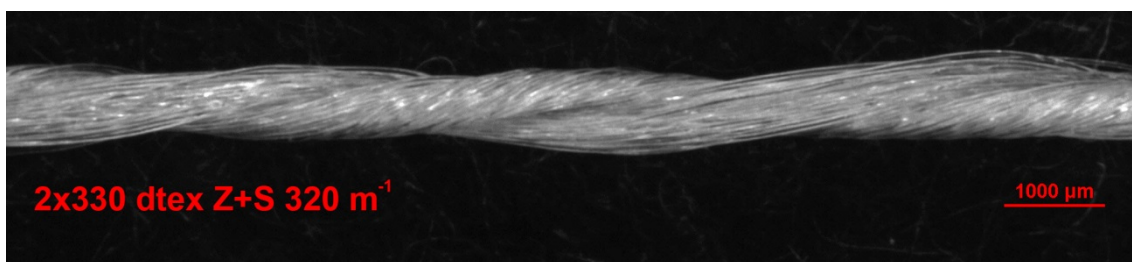
Na Obrázcích 27 a 28 jsou zřejmé směry zákrutů jednoduchých multifilů. Z těchto multifilů jsou tvořeny všechny skané multifily, použité v experimentu.



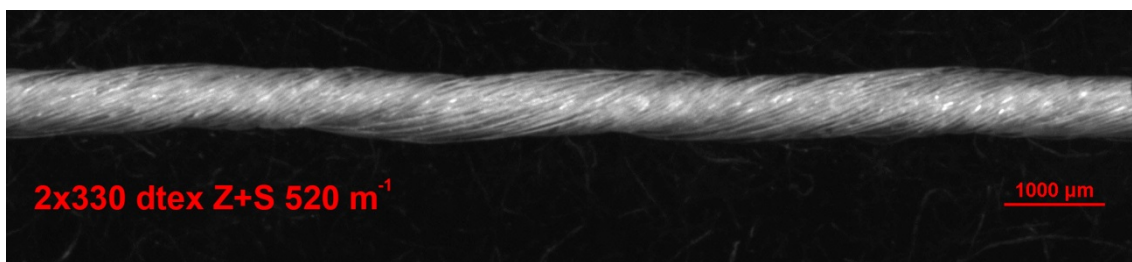
Obrázek 29: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a S, skacím zákrutu S a $Z=120\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



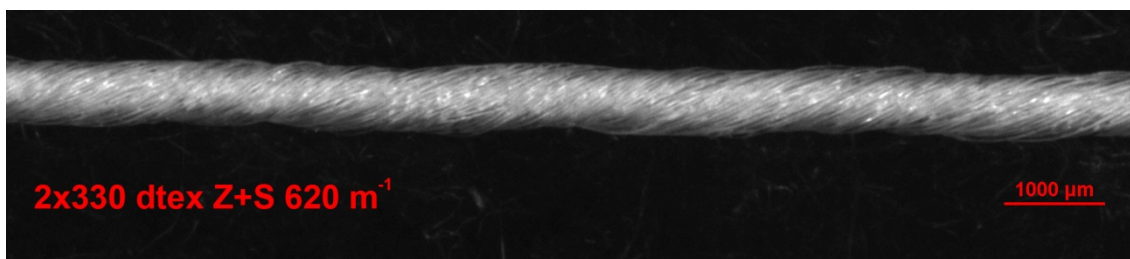
Obrázek 30: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a S, skacím zákrutu S a $Z=220\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



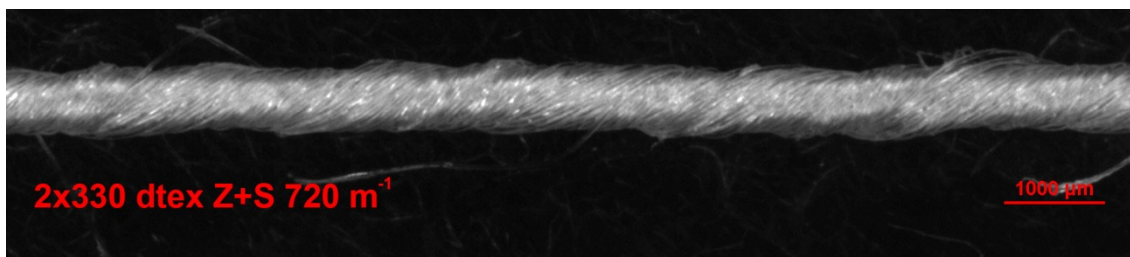
Obrázek 31: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a S, skacím zákrutu S a $Z=320\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



Obrázek 32: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a S, skacím zákrutu S a $Z=520\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



Obrázek 33: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a S, skacím zákrutu S a Z= 620 m^{-1} , o jmenovité jemnosti 660 dtex

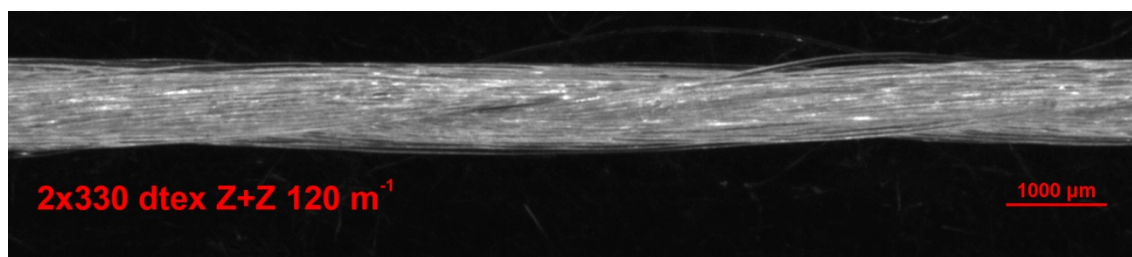


Obrázek 34: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a S, skacím zákrutu S a Z= 720 m^{-1} , o jmenovité jemnosti 660 dtex

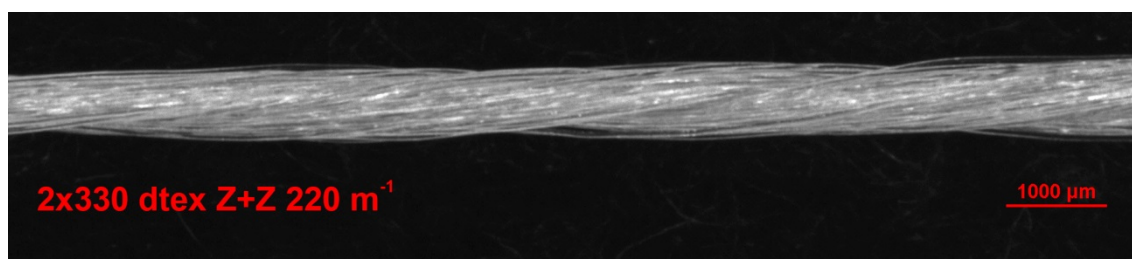
V případě výše zobrazených Obrázků 29 až 34, které představují podélné pohledy na skané multifily tvořené jednoduchými multifily se zákruty ve směru S a Z, je patrný vliv směru skacího zákrutu.

Díky skaní ve směru S dochází k částečnému rozkroucení jednoduchého multifilu se směrem zákrutu Z a dalšímu zakroucení jednoduchého multifilu se směrem zákrutu S. Tento jev je patrný zejména na podélných pohledech na multifily o jmenovitém skacím zákrutu 120 m^{-1} , 220 m^{-1} a 320 m^{-1} (Obrázek 29 až 31). Zřetelně je znát rozdíl velikosti zákrutu obo jednoduchých multifilů přítomných v multifilu skaném. Z tohoto důvodu byl zaznamenán větší variační koeficient úhlu sklonu povrchových vláken k ose multifilu v porovnání se skaným multifilem složeným z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z. Podélný pohled dále zakrucovaného skaného multifilu je znatelně odlišný od v další části zobrazeného skaného multifilu se směry zákrutu jednoduchých multifilů Z a Z (viz Obrázek 35 až 40). V případě skaného multifilu se směry zákrutu jednoduchých multifilů S a Z má pravděpodobně multifil se zákrutem ve směru Z, díky svému prvotnímu rozkroucení při nižších skacích zákrutech a následnému zakrucování s rostoucím skacím zákrutem, menší počet zákrutů, než jednoduchý multifil se zákrutem ve směru S, který se společně s rostoucím skacím zákrutem stále zkracuje vlivem seskání. Může tak docházet k výskytu méně napnutých fibril jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru Z v porovnání s jednoduchým multifilem se zákrutem ve směru S.

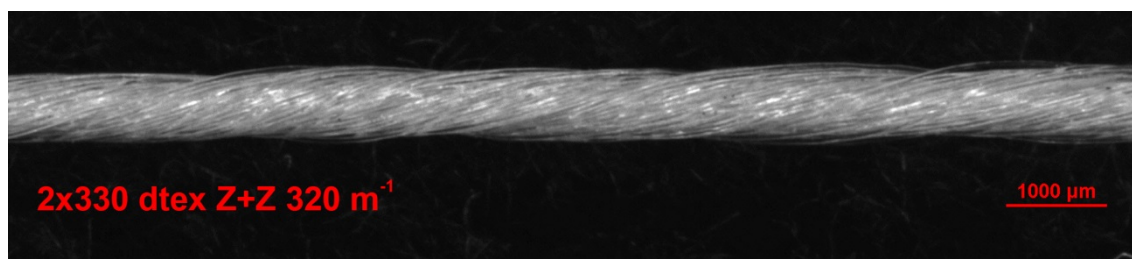
Z Obrázků 35 až 40 je také patrný postupně se zmenšující průměr multifilu, kdy nejprve dochází k částečnému rozkroucení jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru Z (Obrázek 35 až 38). S přibývajícím zákrutem a s ním spojeným zkracováním jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru S, je stále častěji znatelné střídání napnutých a volnějších fibril jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru Z na povrchu skaného multifilu, které může ovlivnit variabilitu průměru.



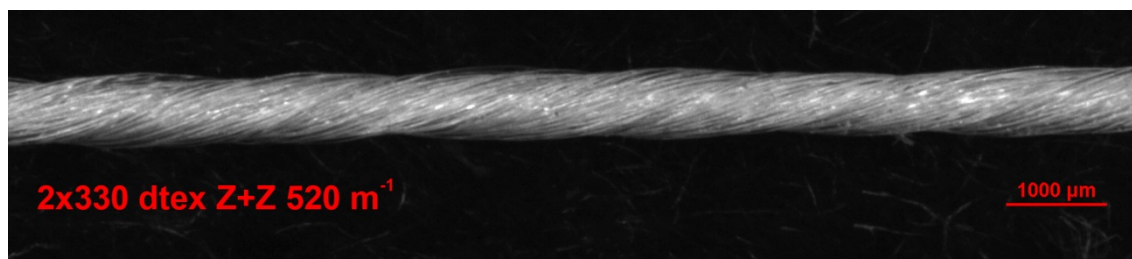
Obrázek 35: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a Z, skacím zákrutu S a $Z=120\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



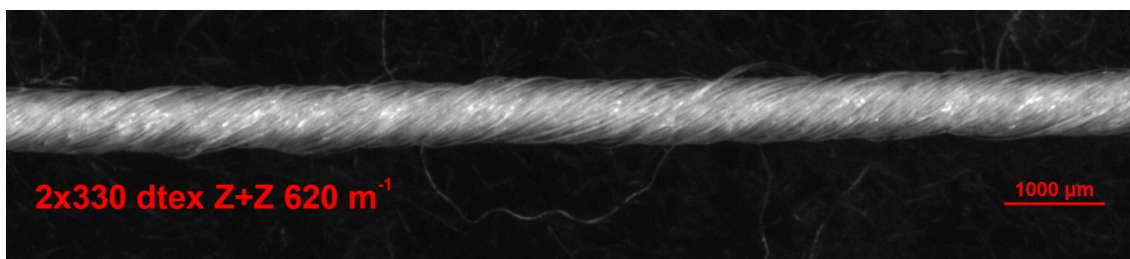
Obrázek 36: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a Z, skacím zákrutu S a $Z=220\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



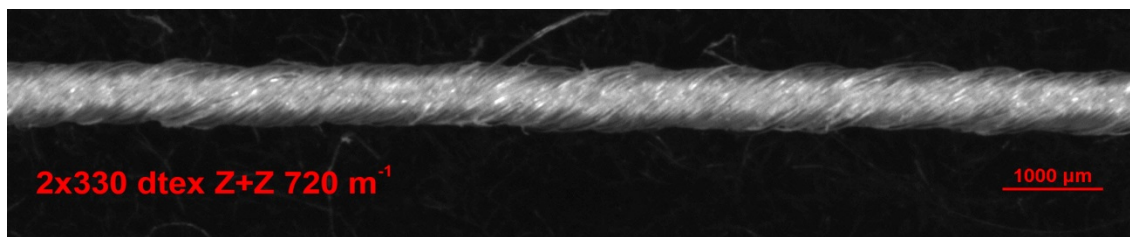
Obrázek 37: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a Z, skacím zákrutu S a $Z=320\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



Obrázek 38: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a Z, skacím zákrutu S a $Z=520\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



Obrázek 39: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a Z, skacím zákrutu S a $Z=620\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



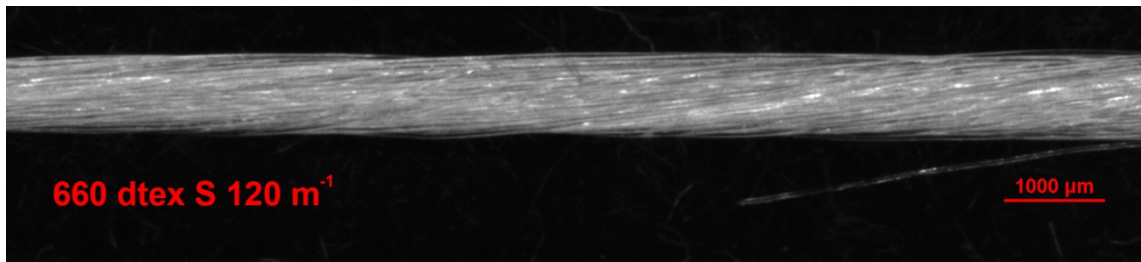
Obrázek 40: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a Z, skacím zákrutu S a $Z=120\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex

V případě skaných multifilů tvořených jednoduchými multifily se směry zákrutu Z a Z, viz Obrázek 35 až 40, je zejména v případě multifilu o skacím zákrutu velikosti 120 m^{-1} , patrný vliv skacího zákrutu ve směru S, kdy dochází ke zdatelnému částečnému rozkroucení obou jednoduchých multifilů v multifilu skaném. Toto rozkroucení je však minimální a neprojevilo se zápornou hodnotou seskání skaného multifilu, tak jako se projevuje seskání dvojmo skané příze ze staplových vláken, která je zakrucována skacím zákrutem o hodnotách o více než polovinu menších, než je zákrut jednoduché příze v přízi skané [47].

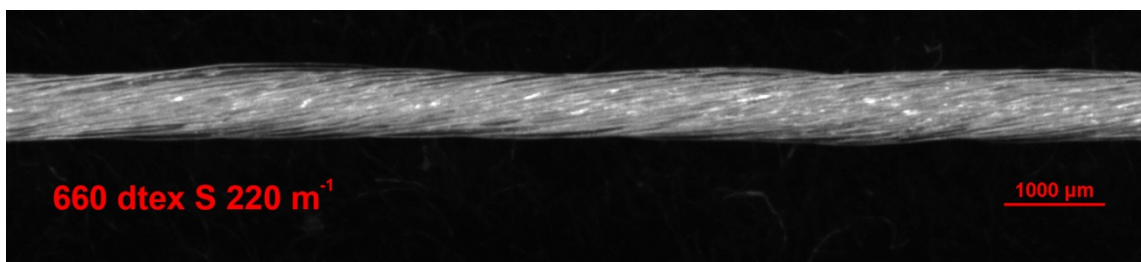
Při dalším zakrucování lze na podélných pohledech pozorovat utahování obvodových fibril na povrchu skaného multifilu. V případě multifilů o jmenovitém skacím zákrutu $Z = 720\text{ m}^{-1}$ je patrné ukládání některých fibril na povrchu multifilu. Tento jev by mohl být způsoben deformací související s počáteční fází tvorby zákrutu druhého řádu. Je také pravděpodobné, že díky opačnému směru skacího zákrutu, než je směr ochranného zákrutu jednoduchých multifilů, došlo k částečnému rozkroucení jednoduchých multifilů a poté k opětovnému zakroucení. Díky tomu se v jednoduchých multifilech pravděpodobně nacházejí různě napnuté fibrily. To se při vysokém zákrutu projevuje tak, že některé fibrily jsou uvolněné a některé utažené.

Jak je patrné z Obrázků 41 až 45, s rostoucím zákrutem dochází ke zmenšující se velikosti průměru zakrucovaného vlákněného svazku. Na Obrázku 44 a 45 je ale již

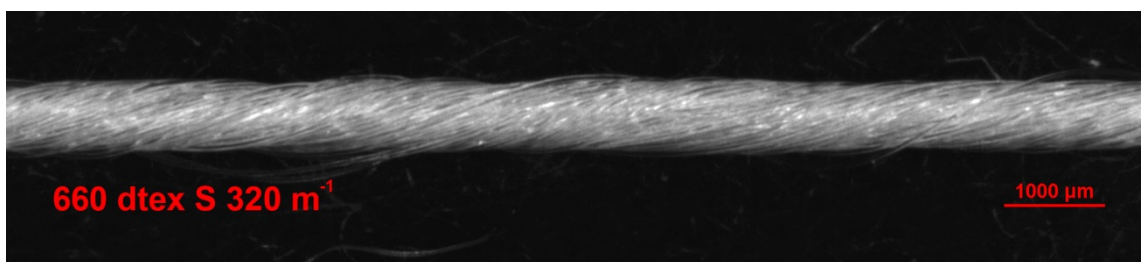
patrné ukládání fibril na povrch vlákna a počátek vzniku zákrutu druhého řádu. Obě tyto skutečnosti mohou mít vliv na zvyšující se velikost průměru.



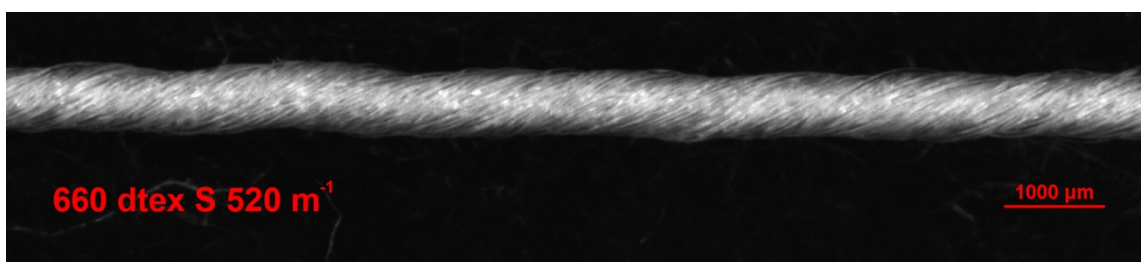
Obrázek 41: Podélný pohled na jednoduchý multifil se směrem zákrutu S a $Z=120\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



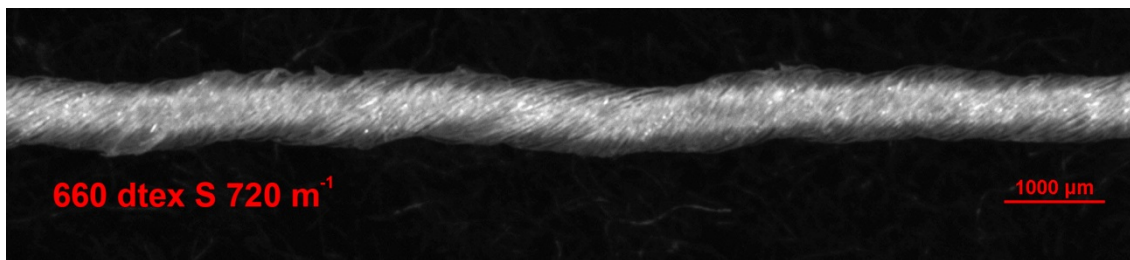
Obrázek 42: Podélný pohled na jednoduchý multifil se směrem zákrutu S a $Z=220\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



Obrázek 43: Podélný pohled na jednoduchý multifil se směrem zákrutu S a $Z=320\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



Obrázek 44: Podélný pohled na jednoduchý multifil se směrem zákrutu S a $Z=520\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex



Obrázek 45: Podélný pohled na jednoduchý multifil se směrem zákrutu S a $Z=720\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex

Z podélných pohledů na jednoduchý multifil zakrucovaný ve směru S je patrné, jak dochází ke změně úhlu sklonu povrchových fibril multifilu vůči jeho ose. Zároveň je zřetelně pozorovatelný začínající vznik zákrutu druhého řádu již od počtu zákrutů $Z = 520\text{ m}^{-1}$. Tento jev je na podélných pohledech skaných multifilů zřejmý. Dochází k ukládání fibril na povrchu multifilu a s tím souvisí i zvětšování průměru multifilu, obdobně jako v případech skaných multifilů s počtem skacích zákrutů $Z = 720\text{ m}^{-1}$. Přítomnost vznikajících zákrutů druhého řádu v případě jednoduchého zakrouceného multifilu je možná pravděpodobně proto, že nedochází k rozkrucování multifilu, zatímco u skaných multifilů je vždy alespoň jeden jednoduchý multifil částečně rozkrucován vlivem skaní.

Stejně jako u skaných multifilů složených ze dvou jednoduchých multifilů o jmenovité jemnosti 330 dtex, je i v případě jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex patrný nejprve se zmenšující průměr multifilu. Zároveň je ale z Obrázku 44 zřejmý počátek vzniku zákrutu druhého řádu, díky kterému dochází k nárůstu velikosti průměru multifilu.

15 Zaplnění

Výpočet zaplnění probíhal pomocí modelu za použití naměřených hodnot úhlu sklonu povrchových vláken multifilů dle vztahu (27). K výpočtu zaplnění pomocí hodnot úhlu sklonu povrchových vláken, byly použity modu místo hodnot aritmetického průměru, a to z důvodu vysoké variability dat.

$$\mu = \frac{4\pi\alpha^2}{\rho \operatorname{tg}^2(\beta_D)1000} \quad (27)$$

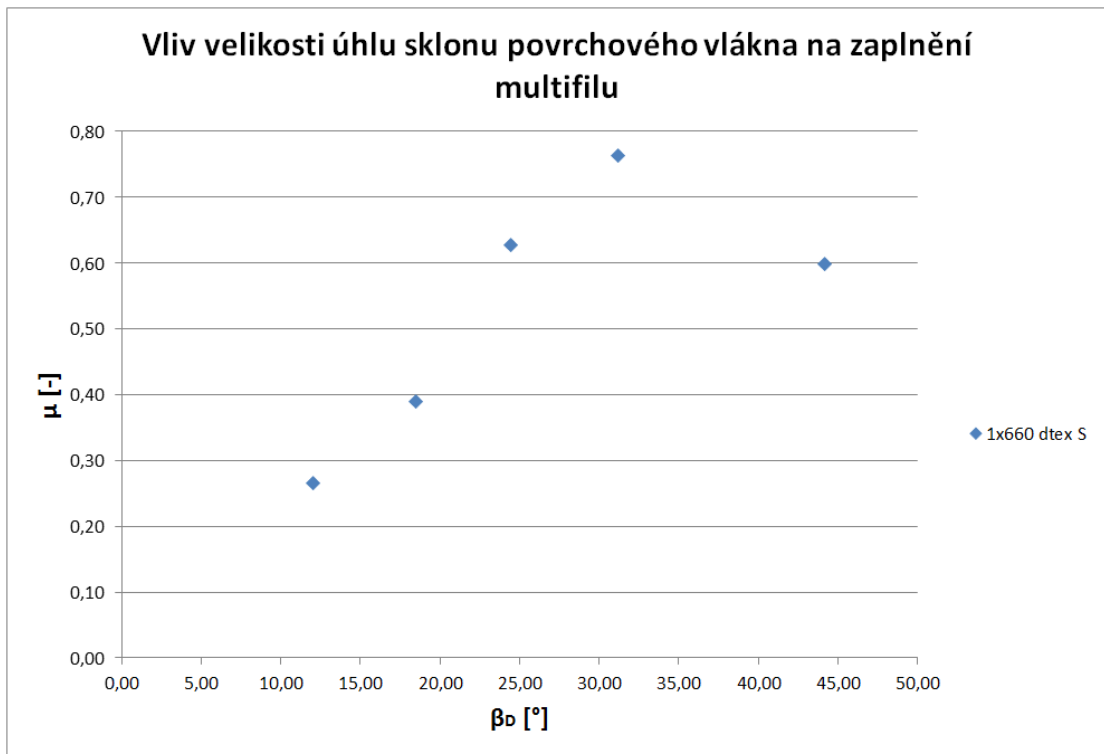
Vzhledem k tomu, že vztah vychází z ideálního šroubovicového modelu, bylo zaplnění počítáno pouze pro jednoduchý zakroucený multifil o jmenovité jemnosti 660 dtex. Výsledné výpočty jsou uvedeny v Tabulce 8.

Tabulka 8: Hodnoty zalnění vypočtené pomocí úhlu sklonu povrchových vláken multifilu a seskání multifilu

Předloha	Jednoduchý Z	Zj [m ⁻¹]	μ [-]
66 tex	S	120	0,27
		220	0,39
		320	0,63
		520	0,76
		720	0,60

Jak je patrné z Tabulky 8, společně s rostoucím počtem zákrutů zaplnění roste. Díky zakrucování dochází k utahování fibril uvnitř multifilu a zároveň k vyplňování slabých míst, nebo volných míst mezi fibrilami, jinými fibrilami multifilu. Z podélných pohledů a dále z měření pevnosti a tažnosti vyplývá, že v případě multifilů o vyšším jmenovitém zákrutu, než 520 m⁻¹, začíná již pravděpodobně docházet k tvorbě zákrutů druhého řádu. Jak je patrné již Tabulky 8, hodnoty zaplnění vypočítané pomocí vztahu (27), tedy za využití velikosti úhlu sklonu povrchového vlákna vůči ose zakrucovaného multifilu, odpovídají předpokladu, že v případě vzniku zákrutů druhého řádu, dojde ke snížení hodnoty zaplnění, viz Obrázek 46.

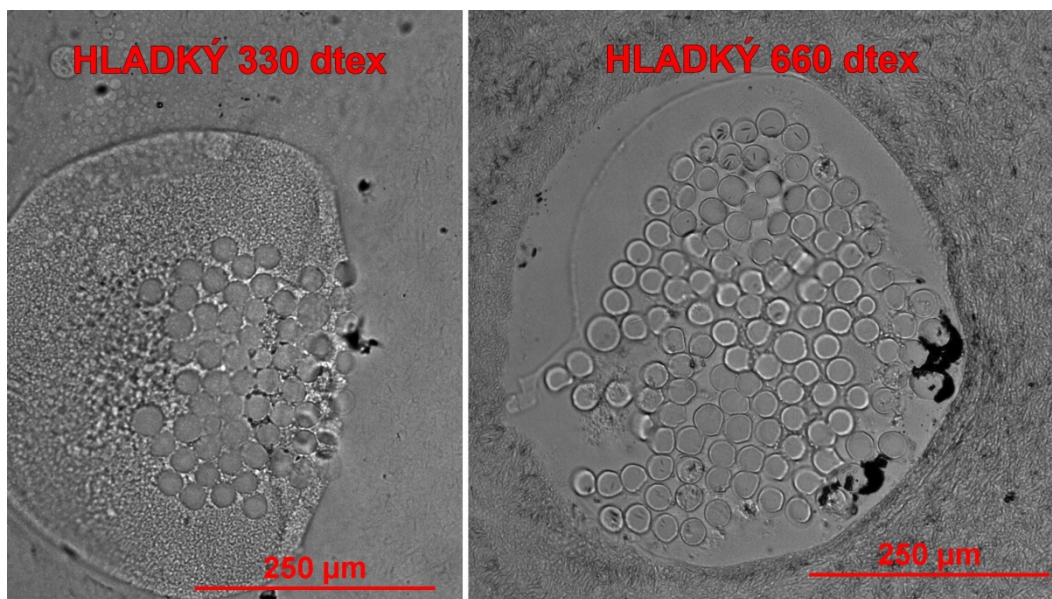
Zvyšující se hodnota zaplnění s rostoucím zákrutem je patrná i na zobrazených měkkých řezech. (viz následující kapitola Obrázky 41 až 45)



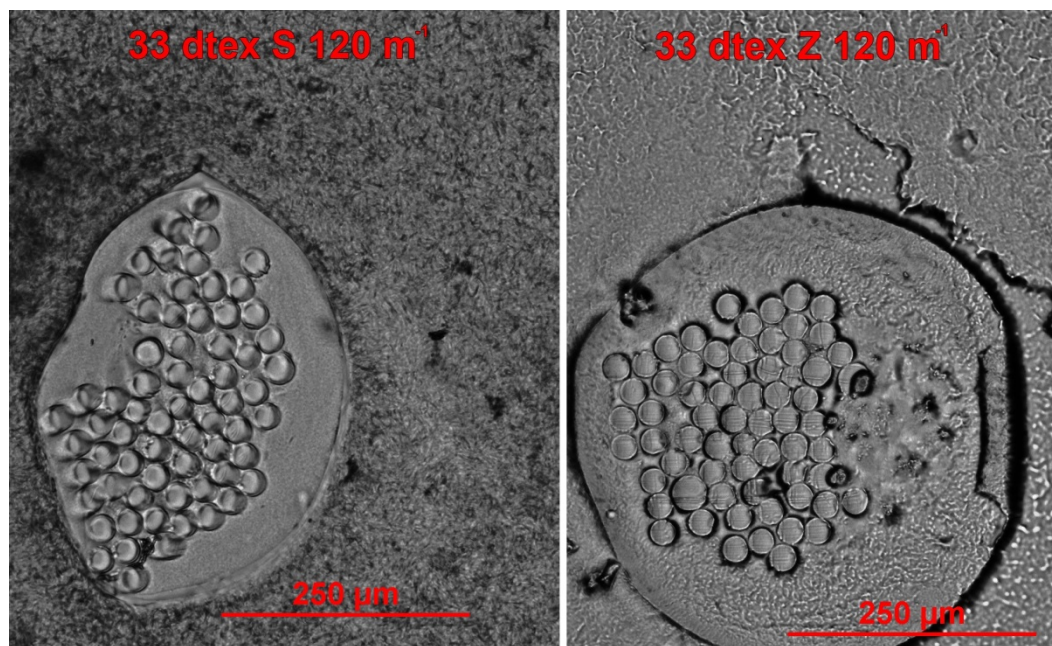
Obrázek 46: Výsledky výpočtu zaplnění zakrucovaného multifilů za využití hodnot úhlu sklonu povrchových vláken vůči ose multifilů

15.1 Příčné řezy multifilů

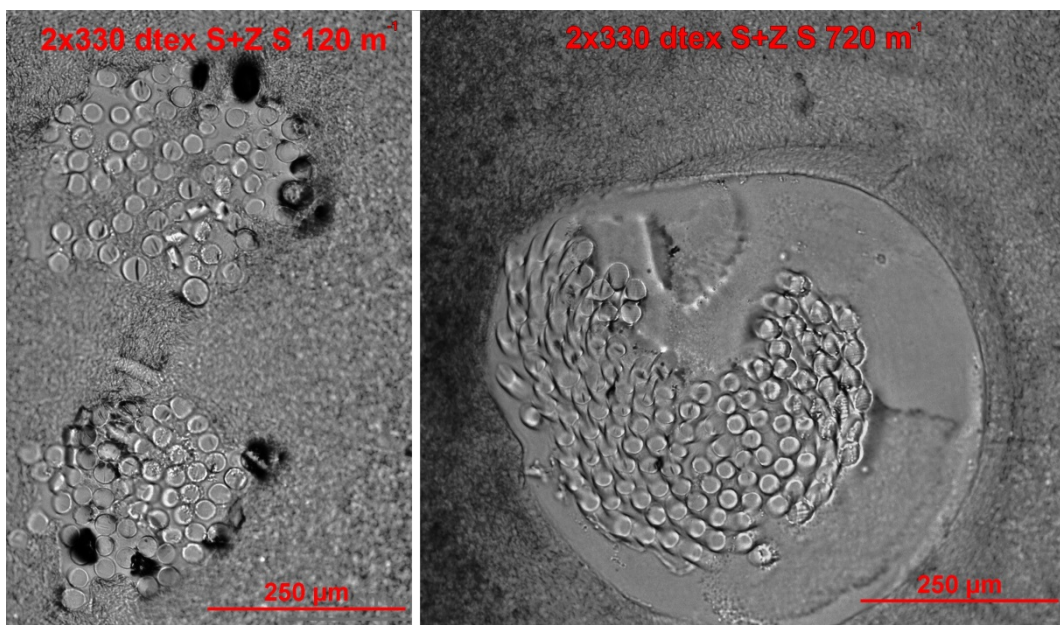
Metodou měkkých řezů byly zhotoveny příčné řezy jednoduchých nezakroucených multifilů (viz Obrázek 47), jednoduchých zakroucených multifilů se zákrutem 120 m^{-1} ve směru Z i ve směru S o jmenovité jemnosti 330 dtex (viz Obrázek 48), a skaných multifilů s minimálním a maximálním počtem zákrutů (viz Obrázek 49 až 51).



Obrázek 47: Příčný řez hladkými multifily o jemnostech 330 dtex(vlevo) a 660 dtex (vpravo)

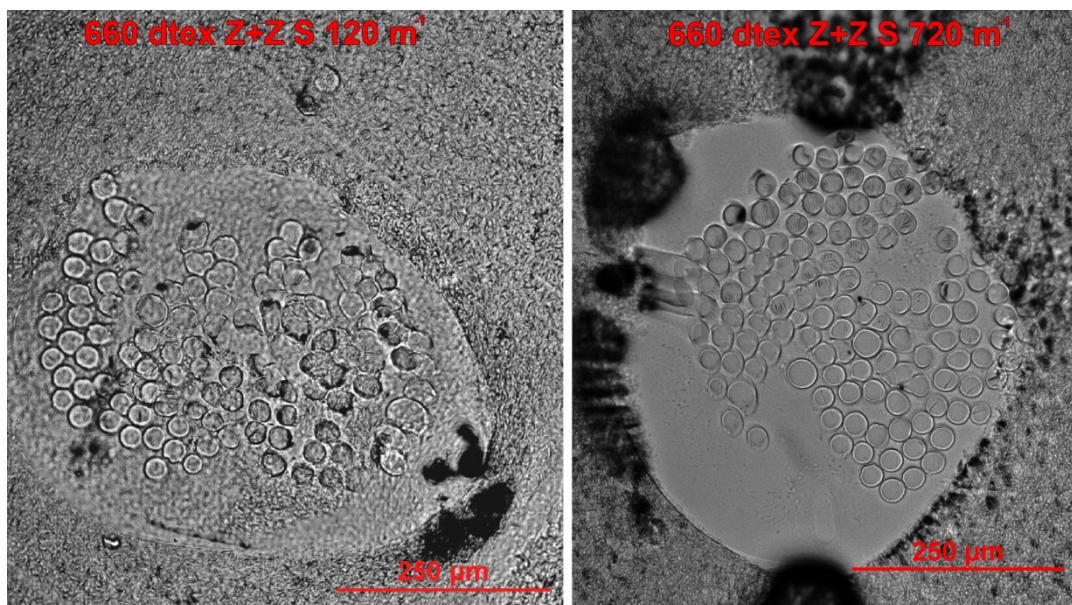


Obrázek 48: Příčné řezy jednoduchých zakroucených multifilů se směrem zákrutu S (vlevo) a Z (vpravo)



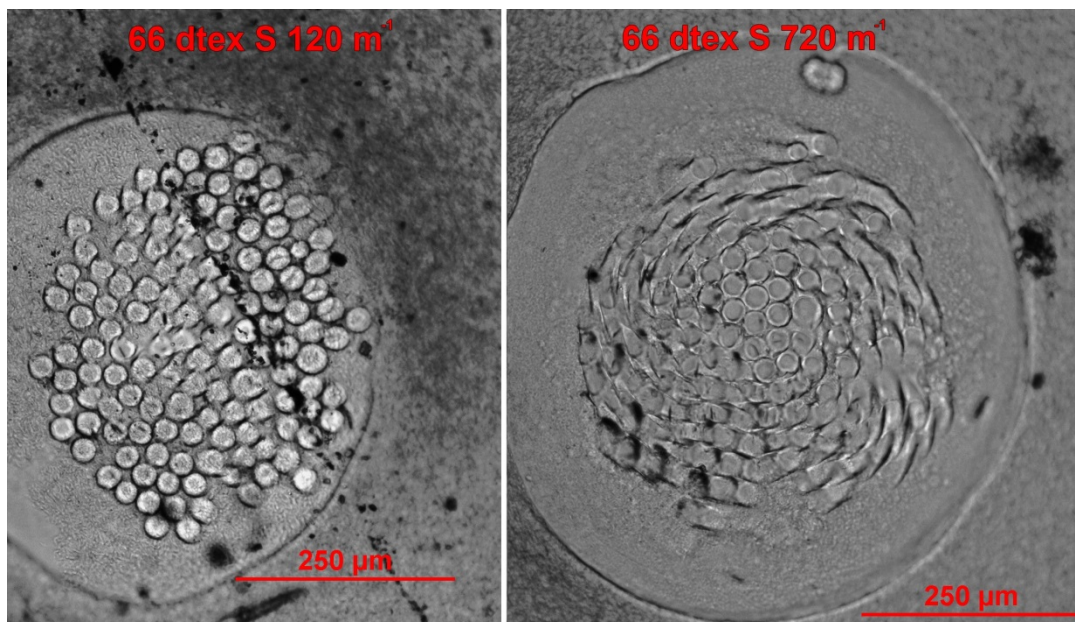
Obrázek 49: Příčné řezy skaných multifilů se směrem zákrutu jednoduchých multifilů S a Z, o počtu zákrutů 120 m^{-1} (vlevo) a 720 m^{-1} (vpravo)

V případě skaných multifilů se směrem zákrutu jednoduchých multifilů S a Z, viz Obrázek 49, je patrné rozdílné zaplnění jednoduchých multifilů již při hodnotě skacího zákrutu 120 m^{-1} , kdy došlo k dodatečnému zakroucení jednoduchého multifilu se směrem zákrutu S (na Obrázku 49 vlevo dole) a částečnému rozkroucení jednoduchého multifilu se směrem zákrutu Z (na Obrázku 49 vlevo nahoře). V pohledu na příčný řez multifilu se skacím zákrutem 720 m^{-1} (na Obrázku 49 vpravo) je patrné, že fibrily jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru Z postupně ztrácely soudržnost. Následně došlo k deformaci tvaru průřezu jednoduchého multifilu a jeho fibrily částečně obklopily jednoduchý multifil se zákrutem ve směru S.



Obrázek 50: Příčné řezy skaných multifilů se směrem zákrutu jednoduchých multifilů Z a Z, o počtu zákrutů 120 m^{-1} (vlevo) a 720 m^{-1} (vpravo)

Na Obrázku 50, kde jsou vyobrazeny řezy multifilů se zákruty jednoduchých multifilů ve směru Z, je patrná změna geometrie průřezu skaného multifilu o jmenovitém skacím zákrutu 120 m^{-1} v porovnání se skaným multifilem se jmenovitým skacím zákrutem 720 m^{-1} . V obou případech lze rozpoznat jednoduché multifily v multifilu skaném.



Obrázek 51: Příčné řezy jednoduchých multifilů o počtu zákrutů 120 m^{-1} (vlevo) a 720 m^{-1} (vpravo)

Na Obrázku 51 je dobře patrný jak rozdíl zaplnění multifilu se zákrutem 120 m^{-1} a multifilu o zákrutu 720 m^{-1} , tak i rozložení fibril jednoduchého multifilu s minimální a maximální zkoumanou úrovní zákrutu. Na příčném řezu multifilu o zákrutu 720 m^{-1} je

vidět, že fibrily ve středu multifilu mají výrazně jinou velikost úhlu sklonu, než fibrily, které se nachází na povrchu multifilu. Potvrzuje to předpoklad vyjádřený v [39], že při zakrucování multifilu dochází k výraznějšímu zakrucování fibril, které se nacházejí po obvodu multifilu, v kontrastu s fibrilami, které se nacházejí blíž středu multifilu.

15.2 Teoretický výpočet průměru

Pomocí výše vypočítaných hodnot zaplnění μ [-] byly spočítány teoretické velikosti průměru jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex. Výpočet probíhal dle vztahu (25), kdy za jemnost T byla dosazena skutečná jemnost multifilů T_S [tex] zjištěná gravimetrickou metodou.

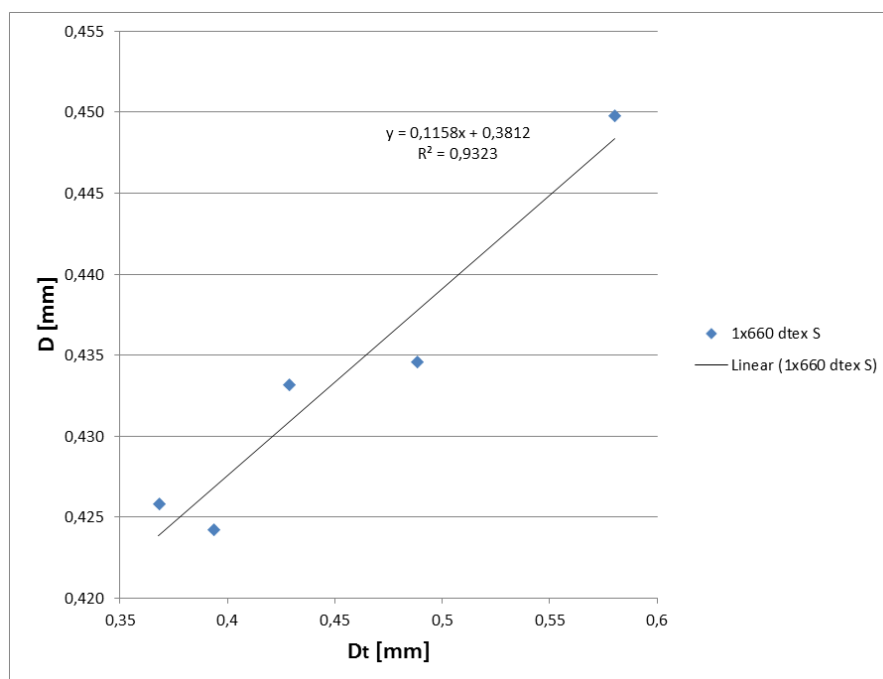
$$D = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}} \quad (25)$$

15.2.1 Komparace průměrů multifilu

Vypočítané hodnoty průměru multifilů jsou v Tabulce 9 uvedeny společně s hodnotami velikosti průměru, zjištěnými experimentálně pomocí přístroje CTT a modulu CTT-YAS. Za účelem porovnání velikostí průměrů multifilů, jsou teoretické i experimentálně zjištěné velikosti průměrů vyneseny do grafu na Obrázku 52.

Tabulka 9: Komparace velikosti průměrů multifilů zjištěných experimentálně (D [mm]) a teoreticky vypočtených (Dt [mm])

Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Zj [m ⁻¹]	D [mm]	Dt [mm]
66 tex	S		120	0,450	0,580
			220	0,435	0,488
			320	0,424	0,394
			520	0,426	0,368
			720	0,433	0,429



Obrázek 52: Grafické vyjádření vztahu mezi experimentálně zjištěným a teoreticky vypočteným průměrem multifilů

Pro posouzení závislosti mezi experimentálně zjištěnými a vypočtenými daty, byl proveden výpočet korelačního koeficientu pomocí statistického programu QC Expert. Hodnota párového korelačního koeficientu R je 0,967. Pro stanovení významnosti korelačního koeficientu byla na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ testována hypotéza $H_0: \rho_p = 0$ proti hypotéze $H_A: \rho_p > 0$. Byla vyčíslena testační statistika $\tau = 6,594$ dle vztahu (59) a nalezena hodnota kvantilu Studentova rozdělení $t_{0,95}(3) = 2,353$. Je patrné, že testační statistika $\tau = 6,594$ nabývá vyšší hodnoty, než kvantil Studentova rozdělení $t_{0,95}(3) = 2,353$ a hypotézu H_0 lze na základě těchto výsledků zamítnout. Je tak prokázáno, že korelační koeficient je s 95% statistickou jistotou nenulový a lze tedy konstatovat, že je statisticky významný. Mezi experimentálně zjištěným a vypočítaným průměrem multifilů existuje lineární závislost.

16 Měření pevnosti a tažnosti

Měření pevnosti a tažnosti multifilů probíhalo na přístroji Instron 4411 v souladu s normou ČSN EN ISO 2062 [30]. V rámci měření bylo nutné použití dvou různých hlav modulu pro testování délkových textilií. Jednalo se o hlavu modulu určenou pro měření materiálů s menší silou do přetrhu, než 0,5 kN, která byla použita při měření maximální síly do přetrhu a prodloužení při maximální síle fibrily. Druhá hlava dynamometru byla určena pro měření materiálů se silou do přetrhu až 5 kN, na které proběhlo měření jednoduchých i skaných multifilů.

Testování multifilů probíhalo na upínací délce 500 mm, za předpětí 0,5 cN/tex a za konstantní rychlosti příčnicku dynamometru 500 mm.min⁻¹. Materiál byl nejprve umístěn mezi čelisti stroje, kdy čelist, připevněná na příčnicku dynamometru, byla zavřena hydraulicky obsluhou, zatímco spodní stacionární čelist byla zavřena automaticky při odpovídajícím předpětí. Zejména v případě multifilů o vyšším počtu zákrutů bylo nutné zajistit, aby se multifil při odvíjení z cívky nezačal rozkrucovat. Po sevření spodní čelisti bylo automaticky zahájeno měření.

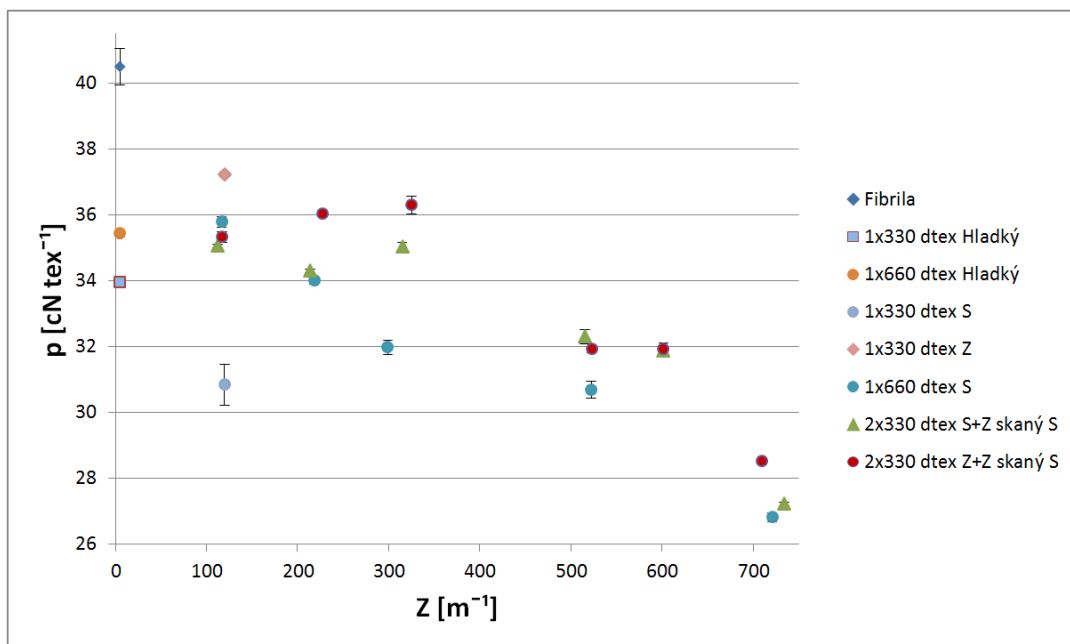
Pro každou úroveň zákrutu jak skaných multifilů, jednoduchých multifilů, tak i fibril, proběhlo celkem 50 měření. Naměřené hodnoty byly poté statisticky zpracovány, došlo k případnému vyloučení vybočujících měření, a byly vypočítány hodnoty poměrné pevnosti dle vztahu (14) a tažnosti dle vzorce (15). Do vztahu (14) byla za jemnost dosazována skutečná jemnost vláknenných útvarů.

Statisticky zpracované výsledky měření poměrné pevnosti a tažnosti jsou uvedeny v tabulce v Příloze 2 a 3. Poměrná pevnost fibrily byla vypočítána na základě statisticky zpracovaných výsledků měření pevnosti jako podíl aritmetického průměru maximální síly do přetrhu ku jemnosti fibrily, vypočtené z jemnosti hladkého multifilu a počtu fibril. Poměrná pevnost fibrily tak nabývá hodnoty 40,50 cNtex⁻¹. Střední hodnota tažnosti fibrily je 43,83 %.

Ze statisticky zpracovaných výsledků měření vyplývá, že poměrná pevnost jednoduchého zakrouceného multifilu o jmenovité jemnosti 330 dtex s počtem zákrutů $Z = 120 \text{ m}^{-1}$ ve směru S má o 12 % nižší hodnotu ve srovnání s jednoduchým zakrouceným multifilem o jmenovité jemnosti 330 dtex s počtem zákrutů $Z = 120 \text{ m}^{-1}$ ve směru Z. Zároveň tento multifil vykazuje nejvyšší variabilitu poměrné pevnosti v rámci celého měření poměrné pevnosti. Důvodem ke statisticky významnému rozdílu

středních hodnot poměrné pevnosti i tažnosti může být již rozdílná velikost průměru obou multifilů, a to i přesto, že jednoduché multifily mají stejný počet fibril a stejný počet zákrutů $Z = 120 \text{ m}^{-1}$. Rozdílná velikost průměru tak může indikovat rozdílné uložení fibril v těchto jednoduchých multifilech a z toho plynoucí i odlišné využití pevnosti fibril v multifilu. Další příčinou rozdílných pevností těchto multifilů by mohla být velká variabilita tažnosti jednotlivých fibril, stejně jako i odlišná úroveň tahového namáhání multifilů při jejich zakrucování na skacím stroji.

Z grafu na Obrázku 53 je patrné, že nejvyšší číselné hodnoty poměrné pevnosti dosahuje fibrila. Hladký multifil o jmenovité jemnosti 660 dtex má vyšší poměrnou pevnost, než hladký multifil o jmenovité jemnosti 330 dtex. Rozdíl poměrné pevnosti fibrily a jednoduchých multifilů může být způsoben provířením, kdy se ve svazku nevyskytují jen napřímené fibrily a díky tomu dojde k poklesu využití tahové síly. Vyšší poměrné pevnosti dosahuje hladký multifil o jmenovité jemnosti 660 dtex pravděpodobně díky většímu množství fibril v multifilu.



Obrázek 53: Vliv zákrutu na poměrnou pevnost multifilu

Jednoduchý multifil o jmenovité jemnosti 330 dtex se zákrutem ve směru Z dosahuje výrazně nižší poměrné pevnosti v porovnání s hladkým multifilem o jmenovité jemnosti 330 dtex se zákrutem ve směru S, pravděpodobně díky rozdílnému napětí fibril při zakrucování.

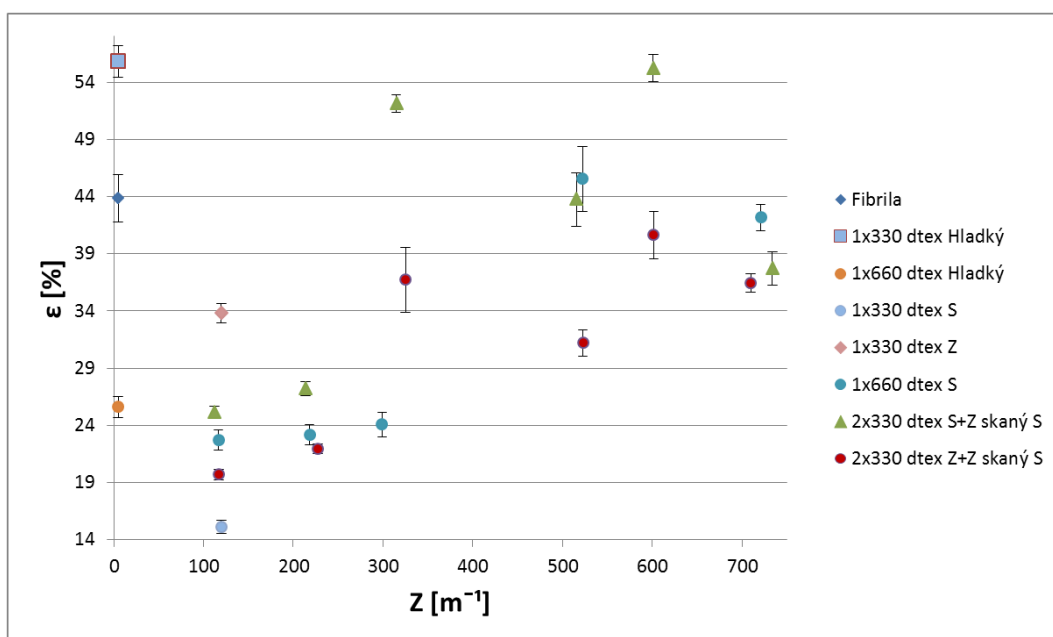
Poměrná pevnost má, v případě jednoduchého zakrouceného multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex, klesající trend společně se zvyšujícím se počtem zákrutů. Nedochází k překryvu intervalů spolehlivosti a rozdíly středních hodnot poměrné pevnosti jsou tak statisticky významné.

Klesající trend poměrné pevnosti při rostoucím počtu zákrutů vykazuje také skaný multifil tvořený dvěma jednoduchými zakroucenými multifily se zákruty ve směru S a Z. V případě tohoto multifilu ovšem dochází ke kolísání hodnot poměrné pevnosti, kdy nejprve dojde k poklesu poměrné pevnosti společně se vzrůstem počtu zákrutů z úrovně jmenovitého zákrutu 120 m^{-1} na 220 m^{-1} , ale s dalším nárůstem počtu zákrutů na 320 m^{-1} dochází znovu k růstu a to až na hodnotu poměrné pevnosti, která je stejná, jako hodnota poměrné pevnosti tohoto skaného multifilu o počtu zákrutů 120 m^{-1} . Toto chování může být způsobeno prvotním částečným rozkroucením jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru Z, kdy ale dochází také k dodatečnému částečnému zakroucení jednoduchého multifilu s ochranným zákrutem ve směru S. Pravděpodobně tak dojde k iniciaci přetrhu díky trahajícím se fibrilám v jednoduchém multifilu se zákrutem ve směru S. Se zvyšujícím se počtem skacích zákrutů pak může docházet k ukládání fibril jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru Z na obvodové fibrily jednoduchého multifilu s ochranným zákrutem ve směru S. Díky tomu tak může vzrůst počet fibril, které se přímo podílejí na rozložení napětí během tahového namáhání a dochází k růstu poměrné pevnosti. S dalším nárůstem počtu zákrutů na 520 m^{-1} a vyšší dochází k poklesu poměrné pevnosti skaného multifilu. Rozdíl středních hodnot poměrné pevnosti v případě skaných multifilů se jmenovitým zákrutem 520 m^{-1} a 620 m^{-1} je statisticky nevýznamný, protože se jejich intervaly spolehlivosti překrývají.

Skaný multifil jmenovité jemnosti 2×330 dtex, který se skládá z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z, vykazuje nejprve rostoucí trend poměrné pevnosti a to až do úrovně jmenovitého zákrutu 320 m^{-1} . Je patrný větší rozdíl poměrných pevností mezi multifily se jmenovitým zákrutem 120 m^{-1} a 220 m^{-1} , než mezi multifily se jmenovitým zákrutem 220 m^{-1} a 320 m^{-1} , kdy dochází k překryvu intervalů spolehlivosti a rozdíl středních hodnot poměrné pevnosti posledních dvou zmíněných multifilů tak není statisticky významný. Prvotní růst poměrné pevnosti je pravděpodobně způsoben částečným rozkručováním jednoduchých multifilů vlivem skaní, kdy je udělován zákrut v opačném směru, než je směr zákrutů jednoduchých multifilů. Může tak nejprve docházet napřimování fibril v jednoduchých multifilech. Díky tomu může dojít

k lepšímu využití pevnosti fibril a růstu poměrné pevnosti. Následně ale pravděpodobně dochází k utahování vláknenného svazku vlivem zvýšení počtu zákrutů a to způsobí pokles poměrné pevnosti, který je podpořený tím, že v důsledku zákrutu je méně využita pevnost jednotlivých fibril, neboť s rostoucím zákrutem, a to od jmenovitého zákrutu 320 m^{-1} , se zvětšuje úhel sklonu fibril k ose multifilu a vlákna jsou tak v méně příznivé poloze z hlediska rozkladu sil při tahovém namáhání multifilu. Z grafu na Obrázku 54 i z tabulky v Příloze 3 vyplývá, že intervaly spolehlivosti tažnosti multifilů se jmenovitými zákruty 520 m^{-1} a 620 m^{-1} se překrývají, a rozdíly středních hodnot poměrné pevnosti tak nejsou statisticky významné. Stejně chování vykazuje i skaný multifil složený z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru S a Z. S rostoucím počtem zákrutů na 720 m^{-1} dochází k dalšímu poklesu poměrné pevnosti.

Jak je patrné z grafu zobrazeném na Obrázku 54, v případě jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 330 dtex byla naměřena vyšší tažnost, než v případě fibrily, pravděpodobně díky přítomnosti většího počtu fibril. Zároveň má ale multifil o jmenovité jemnosti 330 dtex více než dvojnásobnou tažnost v porovnání s jednoduchým multifilem o jmenovité jemnosti 660 dtex. To je pravděpodobně důsledkem provření multifilů společně s dvojnásobným počtem fibril v multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex, kdy může dojít k migraci fibril a ke vzniku „vazných bodů“ mezi fibrilami, které nejsou ve svazku napříměny a díky kterým se tažnost snižuje.



Obrázek 54: Vliv zákrutu na tažnost multifilu

Jednoduchý multifil o jmenovité jemnosti 330 dtex se zákrutem ve směru S má téměř poloviční číselnou hodnotu tažnosti, než jednoduchý multifil o stejné jmenovité jemnosti, ale se zákrutem ve směru Z. To může být způsobeno rozdílným napětím jednotlivých fibril při zakrucování.

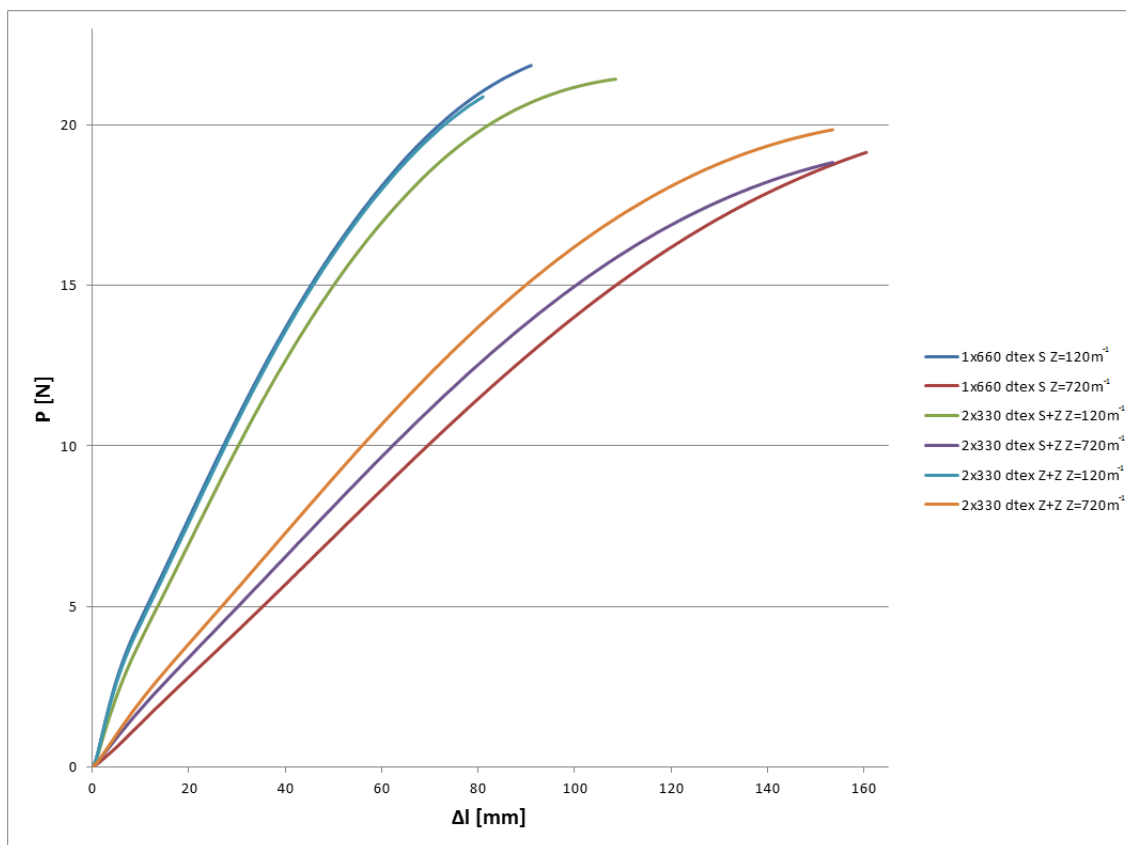
V případě jednoduchého zakrouceného multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex dochází nejprve k pozvolnému růstu střední hodnoty tažnosti s rostoucím počtem zákrutů, a to až do úrovně jmenovitého zákrutu 320 m^{-1} s tím, že 95 % intervaly spolehlivosti středních hodnot tažnosti multifilů s počtem zákrutů 120 m^{-1} , 220 m^{-1} a 320 m^{-1} se překrývají a rozdíly středních hodnot tak nejsou statisticky významné. K výraznému zvýšení tažnosti dochází v případě multifilu s počtem zákrutů 520 m^{-1} , pravděpodobně díky naddodávce materiálu. S úrovní jmenovitého zákrutu 720 m^{-1} tažnost opět klesá. Pokles tažnosti by mohl být způsoben vznikajícím zákrutem druhého řádu, kdy už nedochází ke změně uspořádání fibril uvnitř multifilu a vyplňování prázdných pozic mezi fibrilami, ale k ukládání fibril na povrchu multifilu.

V případě skaného multifilu o jmenovité jemnosti 2×330 dtex, tvořeného jednoduchými zakroucenými multifily se zákruty ve směru S a Z, také dochází k počátečnímu růstu střední hodnoty tažnosti a to do úrovně jmenovitého zákrutu 320 m^{-1} . Rostoucí trend tažnosti je v tomto případě strmější, než v případě jednoduchého zakrouceného multifilu jmenovité jemnosti 660 dtex. Pravděpodobně je to způsobeno dodatečným zakrucováním jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru S, kdy dochází ke zvyšování naddodávky vlákenného materiálu vlivem seskání. Zároveň ale dochází ke společnému zakrucování jednoduchých multifilů vlivem skaní, čímž dochází ke vzniku dvojšroubovice. Během tahového namáhání by tak mohlo docházet nejen k napřimování fibril v jednoduchých multifilech, ale také k napřimování jednoduchých multifilů v multifilu skaném. S rostoucím počtem zákrutů na 520 m^{-1} tažnost klesá. To by mohlo být způsobeno přesunem fibril v multifilu se zákrutem ve směru S během zakrucování do míst s menší koncentrací fibril, kdy ale v případě multifilu o jmenovitém skacím zákrutu 520 m^{-1} již pravděpodobně nedochází k částečnému rozkrucování jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru S a dodatečnému zakrucování jednoduchého multifilu se zákrutem ve směru Z, ale k jejich vzájemnému „utahování“ vlivem skaní. Zároveň dochází k vyplňování slabých míst jednoho z jednoduchých multifilů fibrilami sousedního jednoduchého multifilu, čímž může dojít k určitému omezení schopnosti napřimování fibril a snížení tažnosti multifilu. S dále rostoucím počtem skacích zákrutů na

620 m⁻¹ pravděpodobně dochází k výraznějšímu vzájemnému utahování jednoduchých multifilů s tím, že slabá místa jsou již vyplněna fibrilami a k dalšímu usazování fibril dochází na povrchu multifilu. Díky tomu roste velikost seskání a množství naddodávky vláknenného materiálu, které může vést k dalšímu zvýšení tažnosti multifilu v případě počtu zákrutů 620 m⁻¹. Opětovné snížení tažnosti skaného multifilu, se zákruty jednoduchých multifilů ve směru S a Z, s rostoucím počtem zákrutů na úroveň 720 m⁻¹, by mohlo být způsobeno dalším utahováním skaného multifilu až na takovou míru, kdy je omezena schopnost napřímení jednotlivých fibril díky působení sousedních fibril. V případě skaného multifilu ze dvou jednoduchých multifilů se zákruty ve směru S a Z nedochází k překryvu 95 % intervalů spolehlivosti a rozdíly středních hodnot tažnosti jsou tak statisticky významné. Kolísání tažnosti, zejména v případě multifilů s úrovní jmenovitého zákrutu 320 m⁻¹ a 520 m⁻¹ by také mohlo být způsobeno různým tahovým namáháním jednoduchých multifilů v průběhu skaní.

Průběh tažnosti skaného multifilu o jmenovité jemnosti 2x330 dtex, který je složený z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z, je podobný jako průběh tažnosti skaného multifilu o jmenovité jemnosti 2x330 dtex, který je složený z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru S a Z. Hodnoty tažnosti skaného multifilu se zákruty jednoduchých multifilů Z a Z ale dosahuje nižších hodnot. To by mohlo být způsobeno počátečním částečným rozkroucením jednoduchých multifilů vlivem ukládání opačného skacího zákrutu, než jsou ochranné zákruty těchto jednoduchých multifilů.

Pomocí skriptu byly v programu Matlab vytvořeny průměrné tahové křivky jednoduchého multifilu a skaných multifilů o jmenovité jemnosti 660 dtex, které jsou uvedeny na Obrázku 55. Z obrázku 55 je patrné, že tahové křivky multifilů s nízkým zákrutem (jmenovitý zákrut 120 m⁻¹) mají všeobecně strmější průběh, kdy za stejného zatížení, jako v případě multifilů s vysokým zákrutem 720 m⁻¹, dojde k výrazně menšímu protažení multifilu. To reflektuje skutečnost, že s rostoucím počtem zákrutů dochází ke zvýšení tažnosti, pravděpodobně díky naddodávce materiálu vlivem seskání. Multifily s vysokým zákrutem mají téměř lineární průběh na většině intervalu a zároveň méně výrazný přechod mezi mezí pružnosti a mezí pevnosti. V případě jednoduchého multifilu a skaného multifilu složeného z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z s nízkým skacím zákrutem je také výraznější počáteční lineární oblast a mez kluzu, než v případě ostatních multifilů.



Obrázek 55: Průměrné tahové křivky multifilů pro úroveň zákrutu $Z=120\text{ m}^{-1}$ a $Z=720\text{ m}^{-1}$

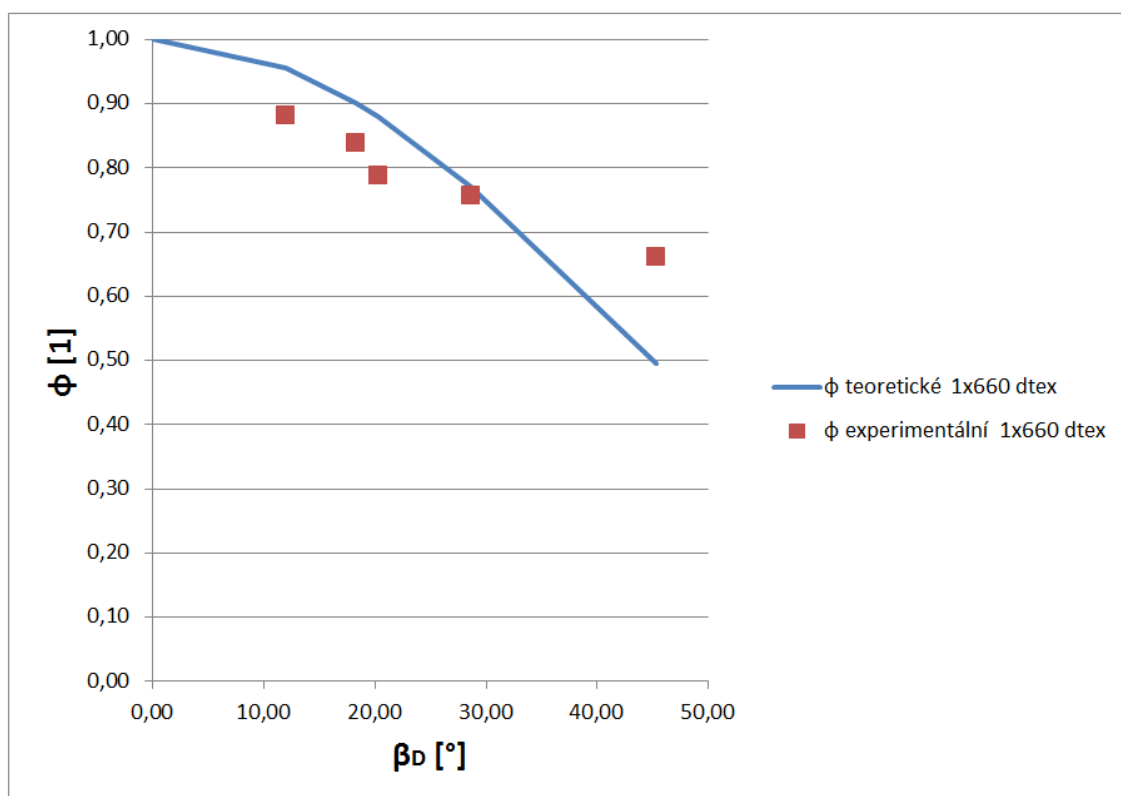
17 Využití pevnosti vláken

Na základě ideálního šroubovicového modelu byl v literatuře [45] odvozen vztah (53), podle kterého byly vypočítány teoretické hodnoty využití pevnosti fibrily v jednoduchém zakrouceném multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex, které jsou uvedeny v Tabulce 10. Pro výpočet byl použit naměřený úhel sklonu vláken a hodnota koeficientu příčné kontrakce $\eta = 0$. V grafu uvedeném na Obrázku 56 jsou vyneseny hodnoty teoreticky vypočtené využití pevnosti fibril i experimentálně zjištěné hodnoty, které byly vypočteny jako podíl poměrné pevnosti zakrouceného vlákenného svazku P ku poměrné pevnosti fibrily P^* .

$$\varphi = \frac{P}{P^*} = (1 + \eta) \cos^2 \beta_D + \eta \frac{\ln \cos^2 \beta_D}{\operatorname{tg}^2 \beta_D} \quad (53)$$

Tabulka 10: Teoretické a experimentální využití pevnosti vláken

Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Z _j [m ⁻¹]	ϕ teor	ϕ exp	β_D
66 tex	S		120	0,96	0,88	12,01
			220	0,90	0,84	18,24
			320	0,88	0,79	20,35
			520	0,77	0,76	28,68
			720	0,49	0,66	45,32



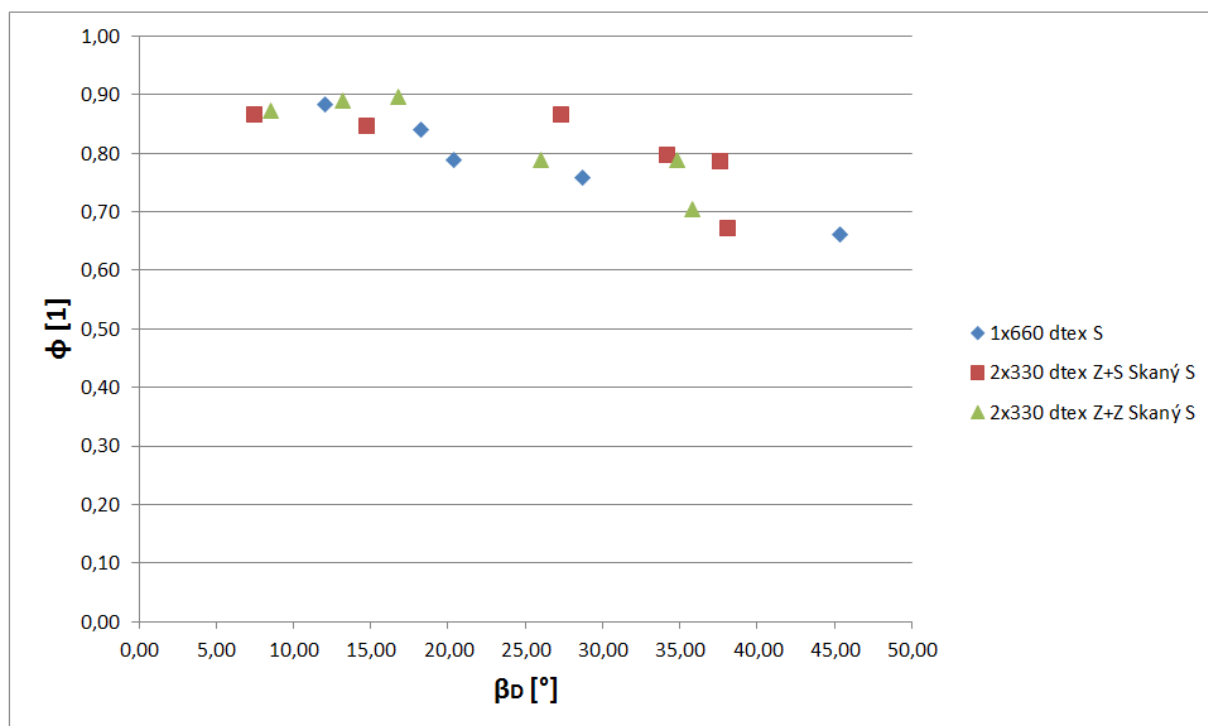
Obrázek 56: Závislost využití pevnosti vláken na úhlu sklonu povrchové fibrily vůči ose multifilu

Z grafu na Obrázku 56 je patrné, že jak teoreticky vypočítané, tak experimentálně zjištěné hodnoty využití pevnosti vláken mají klesající trend. Toto chování je v souladu s předpokladem, že s rostoucím úhlem sklonu povrchových vláken bude docházet k poklesu využití vlákna v zakrouceném vlákenném svazku. Experimentálně naměřené hodnoty využití pevnosti vláken v zakrouceném svazku nabývají zprvu nižších hodnot, než jsou hodnoty teoretické a to do velikosti úhlu sklonu povrchových vláken $\beta_D = 28,68^\circ$. Příčinu lze přičítat k tomu, že průměrná poměrná pevnost vlákna je vyšší než poměrná pevnost svazku vláken, což souvisí s variabilitou tažnosti jednotlivých vláken. Další vliv lze přičítat ke zvlnění vláken. S rostoucí velikostí úhlu sklonu povrchových vláken vůči ose multifilu dochází k růstu hodnoty experimentálně zjištěného využití vláken až nad hodnotu teoretického využití vláken. Příčinou by mohl být začínající vznik zákrutu druhého řádu.

Experimentální využití pevnosti vláken v zakrouceném vlákenném svazku, uvedené v Tabulce 11, bylo vypočítáno jak pro jednoduché multifily o jmenovité jemnosti 330 dtex, tak také pro skané multifily. Patrný je rozdíl velikosti hodnoty využití pevnosti vláken mezi jednoduchým zakrouceným multifilem o jmenovité jemnosti 330 dtex s počtem zákrutů 120 m^{-1} ve směru S a jednoduchým zakrouceným multifilem o jmenovité jemnosti 330 dtex s počtem zákrutů 120 m^{-1} ve směru Z, kdy rozdíl dosahuje 17 %. V grafu na Obrázku 57 je vyobrazeno porovnání výše zmíněného a vyobrazeného experimentálně zjištěného využití pevnosti vláken jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex a skaným multifilům o jmenovité jemnosti 2×330 dtex.

Tabulka 11: Experimentálně zjištěné využití pevnosti multifílů

Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Zj [m ⁻¹]	ϕ_{exp}	β_D
33 tex				0,84	0,61
66 tex				0,87	0,93
33 tex	S		120	0,76	6,25
	Z		120	0,92	4,88
2x33 tex	Z+S	S	120	0,87	7,44
			220	0,85	14,68
			320	0,86	27,30
			520	0,80	34,18
			620	0,79	37,57
			720	0,67	38,03
2x33 tex	Z+Z	S	120	0,87	8,55
			220	0,89	13,13
			320	0,90	16,77
			520	0,79	25,97
			620	0,79	34,76
			720	0,70	35,79
66 tex	S		120	0,88	12,01
			220	0,84	18,24
			320	0,79	20,35
			520	0,76	28,68
			720	0,66	45,32



Obrázek 57: Experimentálně zjištěné využití pevnosti multifílů

Jak je patrné z grafu na Obrázku 57, využití pevnosti vláken skaného multifilů složeného z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru S a Z, dochází nejprve k poklesu hodnoty využití pevnosti vláken. To je pravděpodobně způsobeno dodatečným zakroucením jednoduchého multifilů se zákrutem ve směru S, kdy dochází k růstu velikosti úhlu sklonu povrchových vláken a s tím souvisí i snižující se hodnota využití pevnosti vláken. Jednoduchý multifil se zákrutem ve směru Z se částečně rozkrucuje, ale tím se také v malé míře prodlužuje jeho délka a tak jeho podíl na vyrovnání napětí během tahového namáhání bude menší, než v případě jednoduchého multifilů se zákrutem ve směru S. S rostoucí velikostí úhlu sklonu povrchových vláken na hodnotu $\beta_D = 27,30^\circ$ dochází k růstu využití pevnosti vláken skaného multifilů. Mohlo by to být způsobeno zakrucováním jednoduchých multifilů vlivem skaní, kdy dochází k utahování dvojšroubovice tvořené jednoduchými multifily a lepšímu zapojení fibril jednoduchého multifilů se zákruty ve směru Z do vyrovnávání napětí způsobeného tahovou silou. Dále dochází, s rostoucím úhlem sklonu povrchových vláken, k poklesu hodnot využití pevnosti vláken a to pravděpodobně vlivem dalšího zakrucování díky skaní.

Využití pevnosti vláken skaného multifilů složeného z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z, má nejprve rostoucí trend a to do hodnoty odpovídající velikosti úhlu sklonu povrchových vláken $\beta_D = 16,77^\circ$, poté dochází k poklesu hodnot využití pevnosti vláken společně s rostoucí velikostí úhlu sklonu povrchových vláken, s výjimkou hodnoty využití pevnosti vláken při velikosti úhlu sklonu $\beta_D = 34,76^\circ$, kdy je hodnota využití pevnosti vláken téměř stejná, jako v případě multifilů s úhlem sklonu povrchových fibril $\beta_D = 25,97^\circ$. Prvotní růst využití pevnosti vláken by mohl souviset s částečným rozkrucením jednoduchých multifilů vlivem skaní. Dochází totiž k napřimování vláken a lepšímu využití napětí působícího v ose fibrily. Společně se zvyšujícím se zákrutem dochází poté k dalšímu zakrucování jednoduchých multifilů, s tím souvisejícímu zakrucování fibril a využití pevnosti vláken klesá.

18 Predikce tažnosti

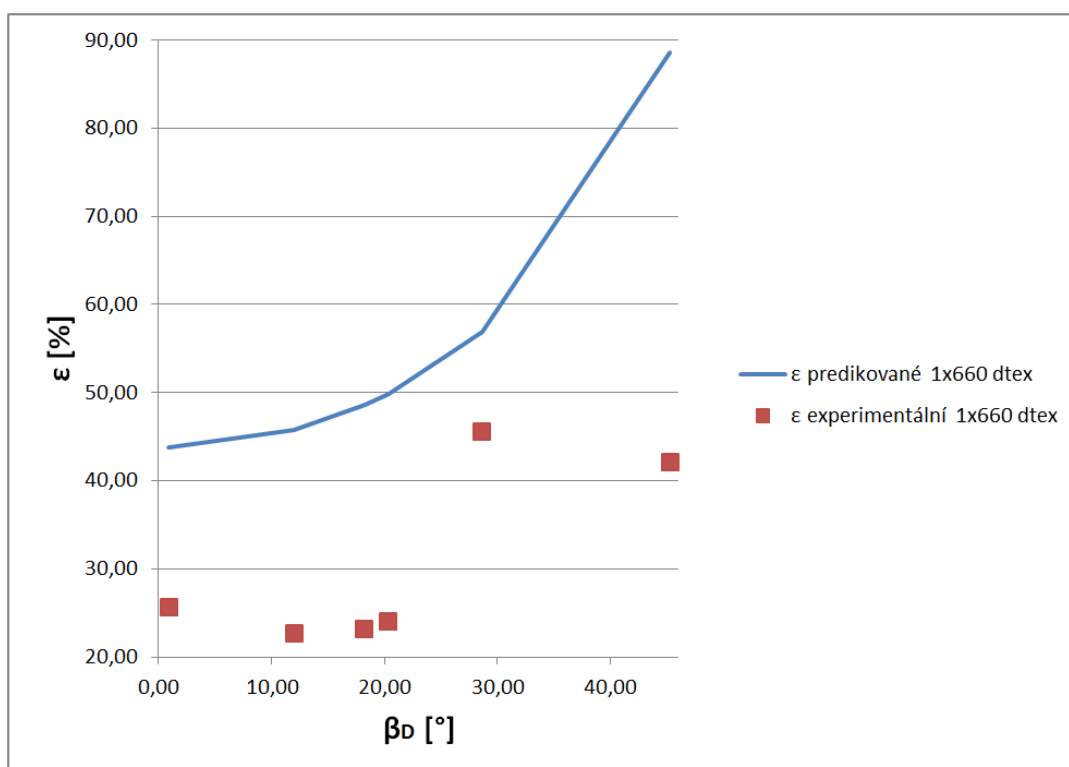
Predikce tažnosti zakrouceného vlákenného svazku vychází z ideálního šroubovicového modelu. Pro odhad tažnosti byl použit vztah (42) odvozený Gegauffem a uvedený v [45].

$$\varepsilon_l = \varepsilon_a \cos^2 \beta_D \quad (42)$$

Výsledky výpočtu predikované tažnosti na základě znalosti velikosti úhlu sklonu povrchového vlákna vůči ose multifilu a poměrné pevnosti ε_l jsou uvedeny v Tabulce 12 a v grafické podobě na Obrázku 58.

Tabulka 12: Predikované a experimentální hodnoty tažnosti

Předloha	Jednoduchý Z	Zj [m ⁻¹]	ε_p [%]	ε_e [%]	β_D
Fibrila	Hladký			43,83	
66 tex	S		43,84	25,59	0,93
		120	45,81	22,72	12,01
		220	48,58	23,15	18,24
		320	49,85	24,06	20,35
		520	56,94	45,52	28,68
		720	88,64	42,17	45,32



Obrázek 58: Závislost predikované a experimentálně zjištěné tažnosti na úhlu sklonu povrchové fibrily

Jak je patrné z grafu na Obrázku 58 a z Tabulky 12, hodnoty experimentální tažnosti zakroucených multifilů nabývají zhruba poloviční hodnotu predikované tažnosti. Nejprve dochází s nárůstem zákrutu na úroveň velikosti úhlu sklonu vláken $\beta_D = 12,01^\circ$ k poklesu tažnosti, poté ale vykazují podobný rostoucí trend, jako v případě predikované tažnosti, kdy dochází nejprve k postupnému růstu a na úrovni velikosti úhlu sklonu vláken $\beta_D = 28,68^\circ$ dojde k výraznému růstu tažnosti. Od tohoto trendu se odlišuje hodnota experimentálně zjištěné tažnosti, která odpovídá zakroucenému multifilu s velikostí úhlu sklonu povrchových vláken $\beta_D = 45,32^\circ$, kdy je možné, že dochází ke začínajícímu vzniku zákrutu druhého řádu a s ním souvisejícímu poklesu tažnosti.

Rozdíl v hodnotách predikované a experimentálně zjištěné tažnosti je pravděpodobně způsoben tažností fibrily, která je vyšší, než tažnost jak nezakrouceného, tak i zakrouceného svazku. V porovnání s tažností svazku také vykazuje velkou variabilitu. Nižší tažnost svazku, v porovnání s tažností fibrily, je pravděpodobně způsobena tím, že jednotlivé fibrily nejsou ve svazku napřímeny, migrují, a tak mezi sebou vytváří „vazné body“, díky kterým se tažnost snižuje. Províření svazku také pravděpodobně přispívá ke snížení jeho tažnosti.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo ověřit vliv zákrutu jak na mechanicko-fyzikální, tak také na geometrické vlastnosti skaného a jednoduchého multifilu. V rámci práce byly popsány zkoumané parametry a uvedeny běžně používané modely využívané pro výpočty zjišťovaných vlastností.

Experimentálními metodami byly nejprve ověřeny geometrické vlastnosti materiálové předlohy a to pomocí zjištění počtu a tvaru fibril v multifilech. Dále byla zjištěna skutečná jemnost multifilů gravimetrickou metodou. V rámci měření byl potvrzen předpoklad, že společně s rostoucím počtem zákrutů roste také délková hmotnost multifilu. Stejně tak je tomu u seskání, které vykazuje rostoucí trend společně se zvyšujícím se počtem zákrutů.

V dalším kroku byly zjištěny skutečné počty zákrutů a seskání multifilu. Výsledky seskání odpovídají předpokladu, že se zvyšujícím se zákrutem bude stoupat také číselná hodnota seskání.

Pomocí přístroje CTT a modulu YAS byl naměřen průměr a variabilita průměru testovaných multifilů. Průměr multifilu se snižoval společně s rostoucím zákrutem až k úrovni jmenovitého zákrutu 320 m^{-1} . S dalším zvýšením zákrutu ale došlo ke statisticky významnému nárůstu průměru multifilu, pravděpodobně vlivem začínajícího zákrutu druhého řádu a s ním spojeným ukládáním fibril na povrchu multifilu. V případě jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex klesá variabilita průměru s rostoucím počtem zákrutů. Pro skané multifily tvořené dvěma jednoduchými multifily o jmenovité jemnosti 330 dtex platí klesající trend variability průměru společně s rostoucím počtem zákrutů jen do úrovně jmenovitého zákrutu 620 m^{-1} . Při navýšení počtu zákrutů na úroveň jmenovitého zákrutu 720 m^{-1} dochází ke zvýšení variability průměru skaných multifilů.

V rámci ověření geometrických vlastností byl dále zkoumán úhel sklonu povrchových fibril vůči ose multifilu a to pomocí obrazové analýzy, kde byly zároveň pořízeny snímky podélných pohledů na testované multifily.

Dalším zkoumaným parametrem bylo zaplnění jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex, které bylo počítáno za pomoci úhlu sklonu povrchových fibril vůči ose multifilu. Pro představu vnitřního uspořádání společně s měnícím se počtem zákrutů

byly zhotoveny příčné řezy. V případě zaplnění jednoduchého multifilu se předpokládalo, že jeho hodnota bude růst společně s rostoucím zákrutem a tento předpoklad se potvrdil až do jmenovitého zákrutu 520 m^{-1} . Poté hodnota zaplnění klesla a to pravděpodobně díky počínajícímu vzniku zákrutu druhého řádu.

V rámci experimentu byl dále zkoumán vliv zákrutu na mechanicko-fyzikální vlastnosti multifilů, konkrétně na hodnoty poměrné pevnosti a tažnosti. Byl proveden výpočet využití pevnosti vláken, a v případě jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex proběhlo také porovnání s teoretickým modelem. Následně byla pro jednoduchý multifil o jmenovité jemnosti 660 dtex stanovena predikce tažnosti na základě Gegauffova vztahu a komparována s experimentálně naměřenou pevností jednoduchého multifilu.

Poměrná pevnost jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex vykazovala, s rostoucím zákrutem, klesající trend. Z výsledků je patrný vliv zákrutu na využití pevnosti vláken, které má u jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex klesající trend, ale pro oba skané multifily platí, že až do úrovně jmenovitého zákrutu 320 m^{-1} využití pevnosti roste, poté dochází k opětovnému poklesu jeho hodnot, pravděpodobně díky překrucování vláken vlivem počínajícího vzniku zákrutu druhého řádu.

V případě skaných multifilů je patrný vliv konstrukce multifilu (tj. skutečnosti, zda je složen z jednoduchých multifilů o stejném směru zákrutu, nebo z jednoduchých multifilů s různým směrem zákrutu) na jejich pevnost, a to především v oblasti jmenovitých zákrutů $120 \text{ m}^{-1} - 320 \text{ m}^{-1}$. V této oblasti pevnost skaného multifilu složeného z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z roste s rostoucím zákrutem, zatímco v případě skaných multifilů složených z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru S a Z pouze kolísá. To by mohlo být způsobeno různým tahovým namáháním jednoduchých multifilů v průběhu skaní. Od úrovně jmenovitého zákrutu 320 m^{-1} pak pevnost obou skaných multifilů klesá s rostoucím zákrutem, pravděpodobně díky vyššímu úhlu sklonu povrchových fibril vůči ose multifilu, které má za důsledek nižší využití pevnosti fibril v multifilu. V případě skaného multifilu složeného z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z tedy platí tvrzení stanovené v [39], že pevnost multifilu bude nejprve růst se zvyšujícím se zákrutem, protože bude docházet k vyrovnávání slabých míst jedné fibrily prostřednictvím

sousedních fibril, poté ale dojde k poklesu pevnosti multifilu, který je způsoben sklonem fibril vůči ose svazku, vlivem udílení dalších zákrutů.

Tažnost jednoduchého multifilu o jmenovité jemnosti 660 dtex vykazuje rostoucí trend až do úrovně jmenovitého zákrutu 520 m^{-1} . S dalším zvýšením zákrutu dochází k poklesu tažnosti. Příčinou je pravděpodobně vznikající zákrut druhého řádu.

Tažnost skaných multifilů všeobecně vykazuje podobné chování. Tažnost roste s rostoucím zákrutem až do hodnoty jmenovitého zákrutu 620 m^{-1} , ale v oblasti hodnot jmenovitého zákrutu 320 m^{-1} až 520 m^{-1} kolísá, pravděpodobně díky různému tahovému namáhání multifilu v průběhu skaní. S dalším navýšením zákrutu pak pevnost klesá. Toto chování může být způsobeno nejprve ukládáním fibril na povrch multifilu a poté vznikajícím zákrutem druhého řádu.

Predikovaná tažnost vypočítaná dle Gegauffova vztahu na základě znalosti úhlu sklonu povrchových fibril vykazuje rostoucí trend. Podobné chování bylo v rámci experimentu zaznamenáno pro jednoduchý multifil o jmenovité jemnosti 660 dtex pouze v úrovních jmenovitého zákrutu 220 m^{-1} až 520 m^{-1} . Vyšší tažnost v případě nízkého počtu zákrutů je možné vysvětlit stále relativně vysokým napřímením fibril v multifilu, zatímco klesající tažnost v případě vysokého počtu zákrutů je možné vysvětlit vznikajícím zákrutem druhého řádu.

Nejvyšší poměrnou pevnost má, v rámci multifilů o jmenovité jemnosti 660 dtex, skaný multifil složený ze dvou jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z při hodnotě jmenovitého zákrutu 320 m^{-1} .

Z výsledků vyplývá, že je zbytečné zakrucovat testovaný polypropylenový multifil nad úroveň jmenovitého zákrutu 620 m^{-1} , protože poté dochází k překrucování multifilu a s tím spojenému všeobecnému zhoršení jak geometrických, tak také mechanicko-fyzikálních vlastností multifilu.

Zdroje

- [1] P., Schwarz, ed. *Structure and mechanics of textile fibre assemblies*. USA, 2008. ISBN 9781845691356.
- [2] Délkové textilie. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 1.4.2018 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9lkov%C3%A9_textilie
- [3] Nählexikon: Nähgarn. *Kurzwarenland.de* [online]. [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://www.kurzwarenland.de/Naehlexikon/Naehgarn>
- [4] *CONSTANT TENSION TESTER ELECTRONIC DRIVE: LH-450 CTT-E* [online]. Swansea, USA [cit. 2017-09-15]
- [5] *CTT Constant Tension Transport: User Manual*. Swansea, USA.
- [6] CTT LH-401: Constant Tension Transport. *Katedra textilních technologií* [online]. [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: http://www.ktt.tul.cz/?page=pristroje&action=detail&nextaction=view&id_pristroje=25
- [7] Termoplasty – základní druhy. *Publi.cz* [online]. [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/18.html>
- [8] petroleum.cz, Polypropylen. *petroleum.cz, Úvodní stránka* [online]. Copyright © [cit. 2017-10-03]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyroby/polypropylen.aspx>
- [9] Zvláknování z taveniny – *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. [cit. 2017-10-08] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zvl%C3%A1kn%C5%88ov%C3%A1n%C3%AD_z_taveniny
- [10] *Lieferant für verarbeitete Kunststoffe: Trecolan GmbH* [online]. [cit. 2017-10-04] Dostupné z: http://www.trecolan.de/typo3temp/_processed_/csm_pp-granulat_a4cfe43cd9.jpg
- [11] Chemická vlákna: - Polypropylen PP. *Testovací server CDV* [online]. [cit. 2017-10-11] Dostupné z: <https://turbo.cdv.tul.cz/mod/book/view.php?id=2363&chapterid=3448>

- [12] Polypropylen | Gina. *Prádlo GINA a GINO / Gina* [online]. Copyright © Milpex s.r.o. [cit 2017-10-08]. Dostupné z: <http://www.gina.cz/Informace-o-zbozi/Materialy/Polypropylen.aspx>
- [13] Polypropylenové vlákno - TEXSITE.info. [online]. Copyright © 2006 [cit. 2017-10-10]. Dostupné z: http://cz.texsite.info/Polypropylenov%C3%A9_vl%C3%A1kno
- [14] Zkoušení textilií: Přednáška 7 - Mechanické vlastnosti. : *Studijní materiál* [online]. TU Liberec, 2018 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/3200320-Katedra-textilnich-materialu-eni-textilii-prednaska-7-mechanicke-vlastnosti.html>
- [15] Saville, B. P. *Physical testing of textiles*. England, 1999. ISBN 9781855733671
- [16] Kießling/Matthes: *Textil- Fachwörterbuch*, Berlin 1993, ISBN 3-7949-0546-6, str. 123
- [17] RANA, Sohel. Concept of High Volume Instrument: HVI Used in Bale Management System. *Textile learner* [online]. Noakhali Textile Engineering College, 2013 [cit. 2018-22]. Dostupné z: http://textilelearner.blogspot.com/2012/10/concept-of-high-volume-instrument-hvi_14.html
- [18] BEROUN, Stanislav. Úvod do strojírenství: Textilní stroje. *Katedra vozidel a motorů* [online]. TU Liberec, 2009 [cit. 2017-07-29]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1891>
- [19] MOUČKOVÁ, Eva. Přádělnictví: Přednáška 14 - nekonvenční dopřádací systémy, soukání, skaní. *Katedra textilních technologií*. TU Liberec, 2013, [cit. 2017-09-12].
- [20] Talavášek O., Plíštil J.: Příprava materiálu ke tkaní. Praha, SNTL 1984
- [21] URSÍNÝ, P. *Předení II*. Liberec, 2001. Skriptum. Technická univerzita v Liberci.

- [22] Skani. *E-LTex: Průvodce obchodováním s textilem a oděvy* [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.skolatextilu.cz/elearning/416/zakladytextilnich-technologie/technologie-tkani/Skani.html>
- [23] Lorenz, R.R.C.: Yarn twisting, Textile progress, Volume 16, Number ½, The Textile Institute, 1987
- [24] Ursíny, P.: Stroje a technologie dopřádání, VŠST Liberec, 1984.
- [25] Ursíny, P.: Spřádání bavlnářským způsobem II., VŠST, Liberec, 1991
- [26] NECKÁŘ, B. *Příze: tvorba, struktura, vlastnosti*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00213-3
- [27] Zákrut příze. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 14.6.2017 [cit. 2017-11-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1krut_p%C5%99%C3%ADze#Z%C3%A1krut_skan%C3%BDch_p%C5%99%C3%ADz%C3%AD
- [28] NECKÁŘ, Bohuslav. Struktura a vlastnosti textilií: Příze 1 - definice, souvislosti. : *Katedra textilních technologií* [studijní materiál]. TU Liberec [cit. 2017-11-28].
- [29] ČSN EN ISO 2061 80 0709. *Textilie - Zjišťování zákrutů nití - Metoda přímého počítání*. Leden 2016.
- [30] ČSN EN ISO 2062 80 0700. *Textilie – Nitě na návinech – Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu pomocí přístroje s konstantní rychlostí prodloužení (CRE)*. Červenec 2010.
- [31] Saville, B. P.: Physical testing of textiles, Woodhead publishing, England, 1999
- [32] Hookův zákon: Předpoklady. *Docplayer.cz* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/277994-2-4-6-hookuv-zakon-predpoklady-2405-podivame-se-jeste-jednou-na-zacatek-deformacni-krivky-0-0015-0-003-pro-hodnoty-normaloveho-napeti-mensi-nez-s.html>
- [33] HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie 1 Nauka o materiálu*, 2. Vydání. Praha: SNTL, 1978

- [34] Normalni rozdělení. Wikiskripta [online]. 2016 [cit. 2018-02-09]. Dostupne z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Norm%C3%A1ln%C3%AD_rod%C4%Blen%C3%AD
- [35] Testy normality. Wikiskripta [online]. 2016 [cit. 2018-01-26]. Dostupne z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Testy_normality
- [36] Aritmetický průměr. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [cit. 2017-10-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Aritmetick%C3%BD_pr%C5%AFm%C4%9Br
- [37] Instron: Instron 4411 – jednoosé namáhání. *Technická univerzita v Liberci: Fakulta textilní* [online]. [cit. 2017-11-11]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-technologie%C3%AD-a-struktur-laboratore/instron>
- [38] VYŠANSKÁ, Monika. *Úvod do mechaniky textilií: Přednáška 2: Mechanicko – fyzikální chování multifilu a staplové příze*. TU Liberec.
- [39] Hearle, J. W. S., Grosberg, P., Backer, S.: *Structural mechanics of fibers, yarn and fabrics*, John Wiley and Sons, Inc., USA, 1969
- [40] MERTO VÁ, Iva, Eva MOUČKOVÁ, Bohuslav NECKÁŘ a Monika VYŠANSKÁ. INFLUENCE OF TWIST ON SELECTED PROPERTIES OF MULTIFILAMENT YARN. *Autex Research Journal*. TU Liberec, DOI:10.1515/aut-2017-0018, 1-11.
- [41] HAJSKÁ, Šárka. *MECHANICKO - FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI SKANÉHO MULTIFILOVÉHO HEDVÁBÍ*. TU Liberec, 2014. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Ing. Eva Moučková, Ph.D.
- [42] VOLEJNÍK, Lukáš. *MECHANICKO-FYZIKÁLNÍ CHOVÁNÍ MULTIFILU*. Liberec, 2015. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Ing. Eva Moučková, Ph.D.
- [43] NECKÁŘ, Bohuslav. *Struktura a vlastnosti textilií: Příze a hedvábí 2 – šroubovicový model. : Katedra textilních technologií* [studijní materiál]. TU Liberec [cit. 2017-12-26].

- [44] Kaiser J., Složka V., Dický J., Juráš V. : Pružnost a plasticita I. Alfa, Bratislava 1990
- [45] NECKÁŘ, Bohuslav. Struktura a vlastnosti textilií: Příze a hedvábí 3 – Tahové namáhání a pevnost.: *Katedra textilních technologií* [studijní materiál]. TU Liberec [cit. 2017-01-09].
- [46] IN 46-108-01/01. *Interní norma 46-108-01/01: Doporučený postup tvorby příčných řezů. Měkké a tvrdé řezy*. Liberec: TU Liberec, 2002.
- [47] Jirásková, P., Vyšanská, M., Chůpeková, Z.: Analysis of cotton two-ply yarn twist take-up. STRUTEX Structure and Structural Mechanics of Textile Fabrics. Liberec 2006, pp. 507-512, ISBN80-7372-135-X
- [48] IN 11-108-01/01. Interní norma č. 12-108-01/01: Definice. Geometrické vlastnosti staplových přízi. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002.
- [49] Směrodatná odchylka. Matematika.cz: matematika pro střední a základní školy [online]. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.matematika.cz/smerodatna-odchylka>
- [50] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Statistická analýza experimentálních dat*. Vyd. 2., upr. a rozš. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1254-0.

Seznam obrázků

- Obrázek 1: Zleva do prava - monofil, nezpevněný multifil a zákrutem zpevněný multifil [3]
- Obrázek 2: Základní jednotka polypropylenu [3]
- Obrázek 3: Schéma principu udílení zákrutu na dvouzákrutovém skacím stroji [21]
- Obrázek 4: Schéma dvouzákrutového skacího stroje [24]
- Obrázek 5: Průměr a substanční průměr příze [26]
- Obrázek 6: Zařízení CTT bez přídatných modulů [6]
- Obrázek 7: Princip měření průměru nitě pomocí modulu CTT YAS [5]
- Obrázek 8: Ideální šroubovicový model [43]
- Obrázek 9: Grafické vyjádření jemnosti zakrouceného svazku [43]
- Obrázek 10: Instron 4411 s modulem pro testování přízí [37]
- Obrázek 11: Ukázka tahové křivky, konkrétně měření skaného multifilu o jmenovité jemnosti 2x330 dtex, složeného z jednoduchých multifilů se zákruty ve směrech S a Z, o počtu skacích zákrutů $Z = 120 \text{ m}^{-1}$
- Obrázek 12: Neostrý přetrh multifilu s nižším zákrutem [39]
- Obrázek 13: Vyobrazení ostrého přetrhu multifilu s vyšším zákrutem [39]
- Obrázek 14: Zakrucování svazku rovnoběžných vláken [43]
- Obrázek 15: Působení tahové síly na zakroucený svazek [45]
- Obrázek 16: Síly působící na fibrilu a svazek fibril [45]
- Obrázek 17: Diferenciální mezikruží multifilu [43]
- Obrázek 18: Ověření počtu fibril
- Obrázek 19: Grafické znázornění vlivu velikosti zákrutu na jemnost multifilu
- Obrázek 20: Grafické znázornění vlivu zákrutu na seskání multifilu

- Obrázek 21: Grafické znázornění vlivu velikosti zákrutu na velikost průměru multifilu
- Obrázek 22: Grafické znázornění vlivu zákrutu na variabilitu průměru
- Obrázek 23: Způsob měření úhlu sklonu vlákna na povrchu multifilu
- Obrázek 24: Grafické zobrazení vlivu zákrutu na velikost úhlu sklonu povrchového vlákna vůči ose multifilu
- Obrázek 25: Podélný pohled na hladký multifil o jmenovité jemnosti 330 dtex
- Obrázek 26: Podélný pohled na hladký multifil o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 27: Podélný pohled na multifil se směrem zákrutu S a $Z = 120 \text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 330 dtex
- Obrázek 28: Podélný pohled na multifil se směrem zákrutu S a $Z = 120 \text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 330 dtex
- Obrázek 29: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a S, skacím zákrutu S a $Z=120 \text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 30: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a S, skacím zákrutu S a $Z=220 \text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 31: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a S, skacím zákrutu S a $Z=320 \text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 32: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a S, skacím zákrutu S a $Z=520 \text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 33: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a S, skacím zákrutu S a $Z=620 \text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 34: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a S, skacím zákrutu S a $Z=720 \text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 35: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a Z, skacím zákrutu S a $Z=120 \text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 36: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a Z, skacím zákrutu S a $Z=220 \text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex

- Obrázek 37: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a Z, skacím zákrutu S a $Z=320\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 38: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a Z, skacím zákrutu S a $Z=520\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 39: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a Z, skacím zákrutu S a $Z=620\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 40: Podélný pohled na skaný multifil se směry zákrutu Z a Z, skacím zákrutu S a $Z=120\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 41: Podélný pohled na jednoduchý multifil se směrem zákrutu S a $Z=120\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 42: Podélný pohled na jednoduchý multifil se směrem zákrutu S a $Z=220\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 43: Podélný pohled na jednoduchý multifil se směrem zákrutu S a $Z=320\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 44: Podélný pohled na jednoduchý multifil se směrem zákrutu S a $Z=520\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 45: Podélný pohled na jednoduchý multifil se směrem zákrutu S a $Z=720\text{ m}^{-1}$, o jmenovité jemnosti 660 dtex
- Obrázek 46: Výsledky výpočtu zaplnění zakrucovaného multifilu za využití hodnot úhlu skolnu povrchových vláken vůči ose multifilu
- Obrázek 47: Příčný řez hladkými multifily o jemnostech 330 dtex(vlevo) a 660 dtex (vpravo)
- Obrázek 48: Příčné řezy jednoduchých zakrucených multifilů se směrem zákrutu S (vlevo) a Z (vpravo)
- Obrázek 49: Příčné řezy skaných multifilů se směrem zákrutu jednoduchých multifilů S a Z, o počtu zákrutů 120 m^{-1} (vlevo) a 720 m^{-1} (vpravo)
- Obrázek 50: Příčné řezy skaných multifilů se směrem zákrutu jednoduchých multifilů Z a Z, o počtu zákrutů 120 m^{-1} (vlevo) a 720 m^{-1} (vpravo)

- Obrázek 51: Příčné řezy jednoduchých multifilů o počtu zákrutů 120 m^{-1} (vlevo) a 720 m^{-1} (vpravo)
- Obrázek 52: Grafické vyjádření vztahu mezi experimentálně zjištěným a teoreticky vypočteným průměrem multifilu
- Obrázek 53: Vliv zákrutu na poměrnou pevnost multifilu
- Obrázek 54: Vliv zákrutu na tažnost multifilu
- Obrázek 55: Průměrné tahové křivky multifilů pro úroveň zákrutu $Z=120 \text{ m}^{-1}$ a $Z=720 \text{ m}^{-1}$
- Obrázek 56: Závislost využití pevnosti vláken na úhlu sklonu povrchové fibrily vůči ose multifilu
- Obrázek 57: Experimentálně zjištěné využití pevnosti multifilů
- Obrázek 58: Závislost predikované a experimentálně zjištěné tažnosti na úhlu sklonu povrchové fibrily

Seznam tabulek

- Tabulka 1: Sada experimentálních vzorků
- Tabulka 2: Seznam vzorků pro měkké řezy
- Tabulka 3: Skutečná a jmenovitá jemnost
- Tabulka 4: Komparace jmenovitého a skutečného zákrutu, hodnoty Koechlinova zákrutového koeficientu
- Tabulka 5: Výsledky měření průměru na přístroji CTT
- Tabulka 6: Výsledky měření variability průměru na přístroji CTT
- Tabulka 7: Výsledky měření úhlu sklonu povrchových vláken multifilu
- Tabulka 8: Hodnoty zalnění vypočtené pomocí úhlu sklonu povrchových vláken multifilu a seskání multifilu
- Tabulka 9: Komparace velikosti průměrů multifilů zjištěných experimentálně (D [mm]) a teoreticky vypočtených (D_t [mm])
- Tabulka 10: Teoretické a experimentální využití pevnosti vláken
- Tabulka 11: Experimentálně zjištěné využití pevnosti multifilů
- Tabulka 12: Predikované a experimentální hodnoty tažnosti

Seznam příloh

- Příloha 1: Tabulka závislosti seskání na velikosti zákrutu
- Příloha 2: Tabulka závislosti poměrné pevnosti na velikosti zákrutu
- Příloha 3: Tabulka závislosti tažnosti na velikosti zákrutu
- Příloha 4: Ukázka datového výstupu tahové zkoušky skaného multifilu složeného z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z o velikosti skacího zákrutu $Z=120\text{ m}^{-1}$ na přístroji Instron 4411
- Příloha 5: Ukázka datového výstupu měření průměru a variability průměru skaného multifilu složeného z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z o velikosti skacího zákrutu $Z=120\text{ m}^{-1}$ na přístroji CTT za pomoci modulu CTT-YAS

Přílohy

Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Zj [m ⁻¹]	δ [%]	95% IS	v [%]
33 tex	Hladký					
66 tex						
33 tex	S		120	0,34	< 0,32 ; 0,36 >	14,68
	Z		120	0,27	< 0,25 ; 0,29 >	17,73
2x33 tex	Z+S	S	120	0,70	< 0,67 ; 0,74 >	12,75
			220	1,88	< 1,85 ; 1,91 >	3,90
			320	3,46	< 3,43 ; 3,50 >	2,73
			520	7,71	< 7,61 ; 7,81 >	3,23
			620	9,89	< 9,83 ; 9,96 >	1,76
			720	13,51	< 13,39 ; 13,63 >	2,27
2x33 tex	Z+Z	S	120	0,19	< 0,17 ; 0,20 >	17,62
			220	0,84	< 0,83 ; 0,86 >	5,93
			320	2,11	< 2,08 ; 2,14 >	3,70
			520	6,37	< 6,30 ; 6,45 >	2,95
			620	7,67	< 7,44 ; 7,90 >	7,76
			720	10,58	< 10,49 ; 10,67 >	2,13
66 tex	S		120	0,66	< 0,64 ; 0,67 >	7,53
			220	1,68	< 1,66 ; 1,70 >	3,69
			320	3,08	< 3,05 ; 3,11 >	2,38
			520	8,49	< 8,42 ; 8,56 >	2,12
			720	13,57	< 13,36 ; 13,78 >	3,91

Příloha 1: Tabulka závislosti seskání na velikosti zákrutu

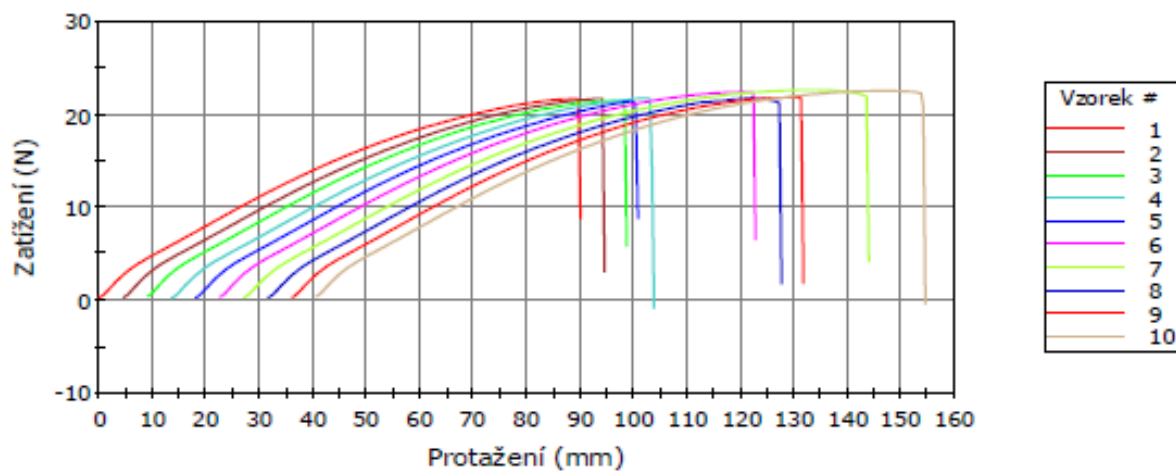
Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Zj [m ⁻¹]	p [cN tex ⁻¹]	95% IS	v [%]
Firbila	Hladký			40,50	< 39,95 ; 41,06 >	4,81
33 tex				33,94	< 33,85 ; 34,04 >	0,98
66 tex				35,43	< 35,34 ; 35,52 >	0,73
33 tex	S		120	30,85	< 30,23 ; 31,47 >	7,08
	Z		120	37,23	< 37,17 ; 37,28 >	0,53
2x33 tex	Z+S	S	120	35,06	< 35,00 ; 35,12 >	0,60
			220	34,31	< 34,26 ; 34,36 >	0,49
			320	35,03	< 34,92 ; 35,15 >	1,13
			520	32,30	< 32,09 ; 32,51 >	2,36
			620	31,87	< 31,70 ; 32,04 >	1,75
			720	27,21	< 27,15 ; 27,27 >	0,77
2x33 tex	Z+Z	S	120	35,33	< 35,16 ; 35,50 >	1,74
			220	36,03	< 35,94 ; 36,13 >	0,92
			320	36,29	< 36,02 ; 36,56 >	2,65
			520	31,91	< 31,82 ; 32,01 >	0,97
			620	31,93	< 31,75 ; 32,10 >	2,00
			720	28,51	< 28,44 ; 28,58 >	0,88
66 tex	S		120	35,79	< 35,63 ; 35,96 >	1,54
			220	34,02	< 33,89 ; 34,14 >	1,15
			320	31,97	< 31,76 ; 32,18 >	2,06
			520	30,69	< 30,45 ; 30,94 >	2,83
			720	26,81	< 26,67 ; 26,95 >	1,86

Příloha 2: Tabulka závislosti poměrné pevnosti na velikosti zákrutu

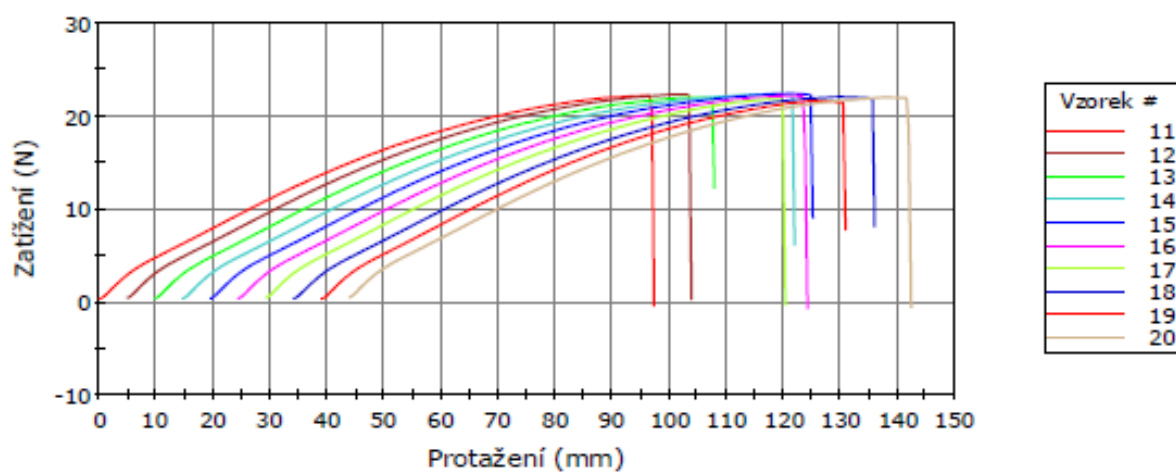
Předloha	Jednoduchý Z	Skací Z	Z _j [m ⁻¹]	ε [%]	95% IS	v [%]
Firbila	Hladký			43,83	< 41,75 ; 45,90 >	17,05
33 tex				55,82	< 54,43 ; 57,20 >	8,97
66 tex				25,59	< 24,69 ; 26,49 >	14,16
33 tex	S		120	15,12	< 14,54 ; 15,69 >	13,46
	Z		120	33,79	< 32,94 ; 34,64 >	8,82
2x33 tex	Z+S	S	120	25,11	< 24,58 ; 25,65 >	7,28
			220	27,20	< 26,57 ; 27,82 >	7,66
			320	52,10	< 51,32 ; 52,88 >	5,07
			520	43,73	< 41,42 ; 46,05 >	19,10
			620	55,22	< 54,05 ; 56,38 >	6,89
			720	37,72	< 36,27 ; 39,16 >	13,40
2x33 tex	Z+Z	S	120	19,68	< 19,20 ; 20,16 >	8,80
			220	21,91	< 21,49 ; 22,33 >	6,64
			320	36,71	< 33,87 ; 39,55 >	27,91
			520	31,16	< 30,01 ; 32,31 >	11,90
			620	40,63	< 38,58 ; 42,68 >	18,20
			720	36,43	< 35,61 ; 37,26 >	8,13
66 tex	S		120	22,72	< 21,85 ; 23,59 >	12,75
			220	23,15	< 22,28 ; 24,02 >	12,12
			320	24,06	< 22,99 ; 25,12 >	13,92
			520	45,52	< 42,68 ; 48,35 >	22,01
			720	42,17	< 41,02 ; 43,32 >	9,57

Příloha 3: Tabulka závislosti tažnosti na velikosti zákrutu

Vzorek 1 až 10

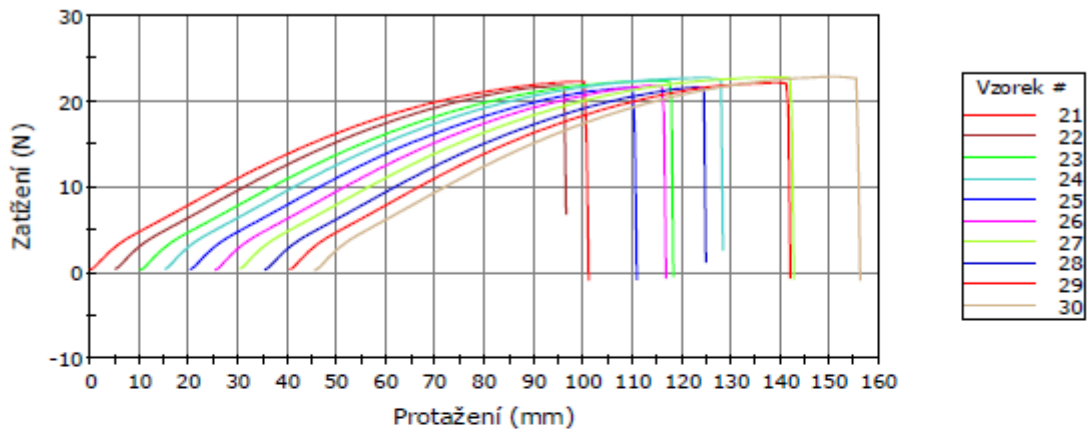


Vzorek 11 až 20

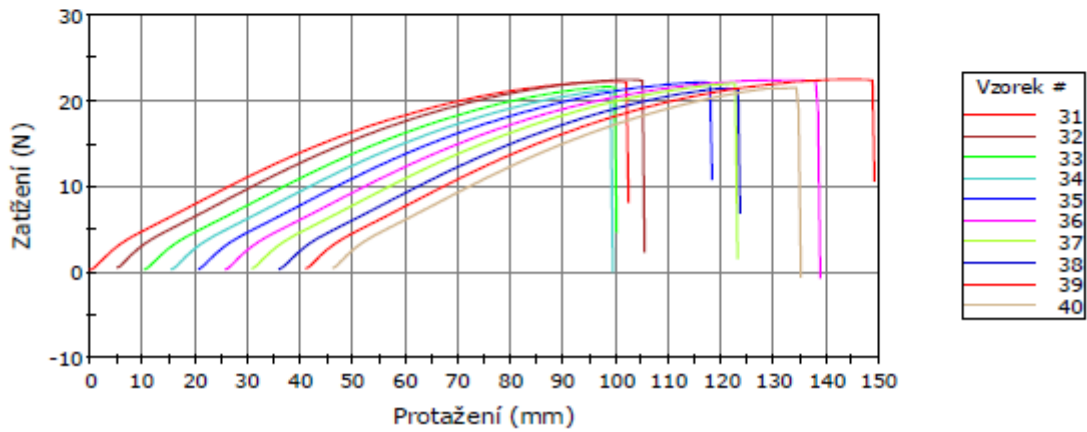


Příloha 4: Ukázka datového výstupu tahové zkoušky skaného multifílu složeného z jednoduchých multifílů se zákruty ve směru Z a Z o velikosti skacího zákrutu $Z=120$ m l na přístroji Instron 4411 Strana 1/4

Vzorek 21 až 30

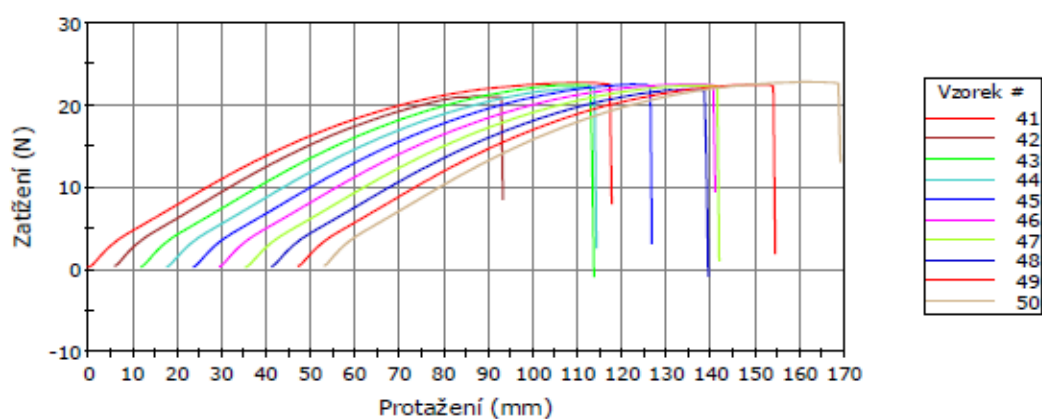


Vzorek 31 až 40



Příloha 4: Ukázka datového výstupu tahové zkoušky skaného multifílu složeného z jednoduchých multifílů se zákruty ve směru Z a Z o velikosti skacího zákrutu $Z=120$ m l na přístroji Instron 4411 Strana 2/4

Vzorek 41 až 50



	Maximální Protažení (mm)	Max Sila (N)	Energie při Maximální Tahové napětí (mJ)	Čas při Maximální Tahové napětí (sec)
1	90.03	21.66	1229.87	10.700
2	90.01	21.69	1227.21	10.700
3	89.68	21.42	1149.42	10.200
4	90.26	21.73	1206.10	10.550
5	82.73	21.42	1075.21	9.800
6	100.21	22.42	1427.71	11.700
7	116.89	22.64	1593.95	12.650
8	96.06	21.77	1266.97	10.900
9	95.64	21.84	1334.68	11.250
10	113.94	22.55	1580.45	12.550
11	97.29	22.16	1369.22	11.450
12	98.96	22.31	1405.18	11.600
13	98.13	21.97	1342.17	11.300
14	107.29	22.35	1560.96	12.500
15	105.63	22.39	1507.54	12.200
16	99.83	22.15	1407.91	11.650
17	91.04	21.81	1220.57	10.600
18	101.88	22.04	1372.21	11.500
19	91.88	21.61	1215.05	10.600
20	98.53	21.99	1337.61	11.250
21	101.03	22.31	1446.93	11.900
22	91.44	21.81	1263.69	10.850
23	108.11	22.40	1564.04	12.550
24	113.13	22.74	1676.61	13.050
25	90.61	21.58	1228.44	10.700
26	91.44	21.84	1217.23	10.600
27	112.31	22.81	1645.14	12.850

Příloha 4: Ukázka datového výstupu tahové zkoušky skaného multifilu složeného z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z o velikosti skacího zákrutu $Z=120$ m l na přístroji Instron 4411 Strana 3/4

	Maximální Protažení (mm)	Max Sila (N)	Energie při Maximální Tahové napětí (mJ)	Čas při Maximální Tahové napětí (sec)
28	89.44	21.65	1195.05	10.500
29	101.49	22.17	1448.79	11.850
30	110.61	22.87	1605.37	12.650
31	102.31	22.27	1400.47	11.600
32	100.24	22.51	1424.27	11.600
33	89.83	21.68	1204.78	10.550
34	83.96	21.26	1088.19	9.900
35	97.71	22.20	1381.51	11.500
36	113.13	22.46	1617.83	12.800
37	92.31	22.04	1287.81	10.950
38	87.71	21.48	1125.37	10.100
39	108.13	22.55	1527.74	12.250
40	88.99	21.54	1196.89	10.450
41	117.59	22.74	1711.83	13.300
42	87.31	21.13	1127.56	10.050
43	101.86	22.47	1438.69	11.750
44	96.53	22.13	1371.48	11.400
45	103.14	22.56	1462.34	11.900
46	111.46	22.56	1595.55	12.650
47	106.48	22.40	1439.57	11.850
48	98.13	21.96	1348.46	11.350
49	107.28	22.52	1559.82	12.450
50	116.04	22.83	1659.70	12.900

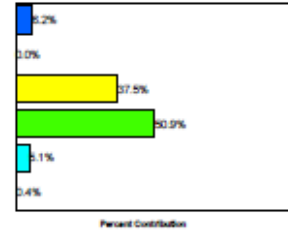
Příloha 4: Ukázka datového výstupu tahové zkoušky skaného multifilu složeného z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z o velikosti skacího zákrutu $Z=120$ m l na přístroji Instron 4411 Strana 4/4

Test by: Lawson-Hemphill Yarn Group: Multifil 660 pop 128 Test Name: ZZ-S-120-3 Test2 Appearance
 Hadwin St Lot Number: 1 Matrix: Sejnova
 Central Falls, RI Machine Number: 1
 Tester: Default User Doff Number: 1

Setup: Reference Diameter: 0.479 Test Length: 100 Test Speed: 100 Light Level: 96

Results:

Min. Event Length (mm)	Diameter Difference	Event Length (mm)								Total
		0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 - 25.0	25.0 - 30.0	30.0 - 35.0	35.0 +	
0.00	+50 %	17	0	0	0	0	0	0	0	17
0.00	-50 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.00	+35 %	102	1	0	0	0	0	0	0	103
0.00	-30 %	140	0	0	0	0	0	0	0	140
0.00	+60 %	14	0	0	0	0	0	0	0	14
0.00	+200 %	1	0	0	0	0	0	0	0	1
										275

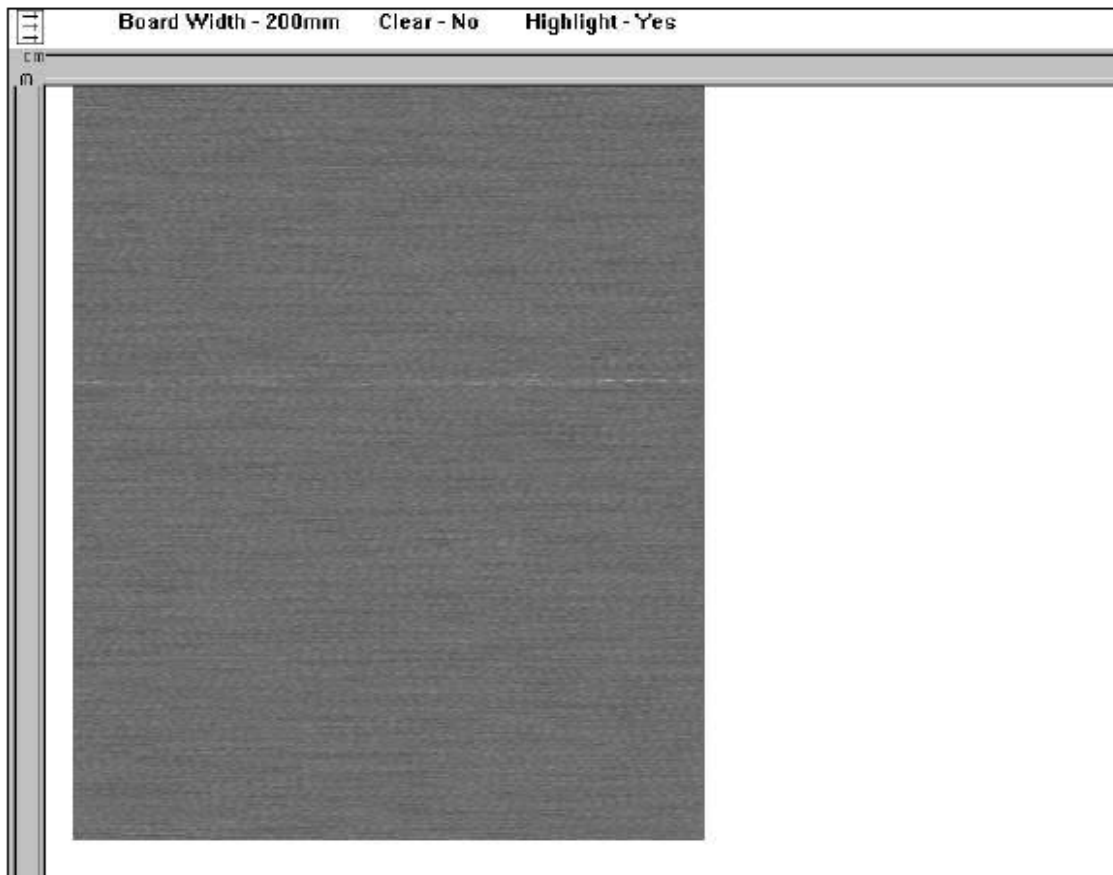


Average Diameter: 0.480 Standard Deviation: 0.051 CV%: 10.58

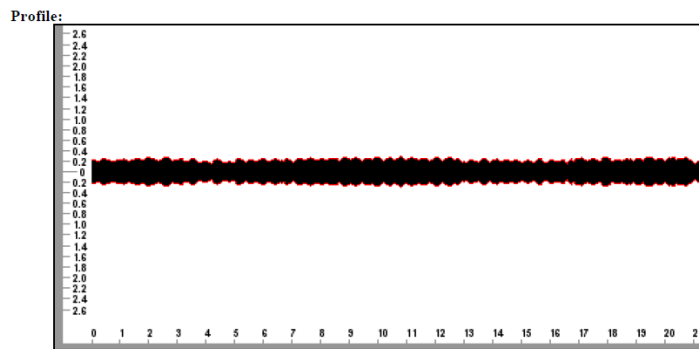
Comments: Yarn Information:

Test Setup:

EIB:



Příloha 5: Ukázka datového výstupu měření průměru a variability průměru skané multifilu složeného z jednoduchých multifilů se zákruty ve směru Z a Z o velikosti skacího zákrutu Z=120 m 1 na přístroji CTT za pomoci modulu CTT YAS, Strana 1/2



Příloha 5: Ukázka datového výstupu měření průměru a variability průměru skaného multifílu složeného z jednoduchých multifílů se zákruty ve směru Z a Z o velikosti skacího zákrutu $Z=120$ m 1 na přístroji CTT za pomoci modulu CTT YAS, Strana 2/2