

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2015

Bc. LUKÁŠ VOLEJNÍK

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: Průmyslové inženýrství
Studijní obor: Řízení jakosti

MECHANICKO-FYZIKÁLNÍ CHOVÁNÍ
MULTIFILU

MECHANICAL-PHYSICAL BEHAVIOR OF MULTIFILE.

Lukáš Volejník

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bc. Monika Vyšanská, PhD.

Rozsah práce:

Počet stran.....94

Počet obrázků.....43

Počet tabulek.....41

vložit zadání DP (1)

vložit zadání DP (2)

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 diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kdo mi pomohli při tvoření této diplomové práce. Především bych chtěl poděkovat Ing. Bc. Monice Vyšanské, PhD za odborné vedení, rady, čas, připomínky a trpělivost při psaní diplomové práce. Dále bych rád poděkoval rodině, bez které by tato práce nemohla vzniknout.

ANOTACE

Cílem této diplomové práce je ověření teoretického vztahu pro tažnost zakrouceného multifilového svazku. Dalším dílčím cílem diplomové práce je zjištění, zda dochází u multifilu k migraci fibril. Vztah popisující tažnost zakrouceného multifilového svazku vychází z předpokladu ideálního šroubovicového tvaru, kde nedochází k migraci fibril, všechna vlákna jsou ve tvaru šroubovice a výška každého zákrutu je všude stejná. Migrace vláken probíhá zejména u staplových přízí, kde je umožněna vzájemným vlákněným posuvem. U multifilů z nekonečných vláken by migrace měla probíhat ve velmi malé míře. Pro ověření vztahu a zjištění, zda dochází k migraci fibril je zvoleno několik hladkých multifilových materiálů a je sledována závislost tažnosti na vzrůstajícím zákrutovém koeficientu.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Multifil, tažnost, migrace fibril, elastická deformace, plastická deformace, zákrut, ideální šroubovicový tvar, interval spolehlivosti.

ANNOTATION

The main focus of this thesis is to test and assess theoretical relations for the elongation of the twisted multifilament bundle. Another aim of the thesis is to determine whether, there is a multifilament with migration fibrils. The relationship describing elongation twisted multifilament bundle based on the assumption ideal helical shape, where is not migration of fibrils, all fibers are helically twist and height of each is the same everywhere. Migration of the fibers takes place mainly in staple yarns, where possible mutual fibers movement. In multifilaments of filament the migration should take place in a very small scale. To verify the relationship and determining whether migration occurs fibrils, is selected several multifilaments materials without twist. There is observed the dependence elongation on increasing coefficient twists.

KEY WORDS:

Multifile, elongation, migrations of fibril, elastic deformation, plastic deformation, twist, ideal helical shape, confidence interval.

1. ÚVOD	14
2. REŠERNÍ ČÁST	15
2.1 MULTIFIL.....	15
2.2 VÝROBA CHEMICKÝCH VLÁKEN	16
2.2.1 ZVLÁKŇOVÁNÍ	17
2.2.2 DLOUŽENÍ.....	19
2.2.3 FIXACE	19
2.3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY DÉLKOVÉHO ÚTVARU	20
2.3.1 ZÁKRUT	20
2.3.1.1 GEOMETRIE ZÁKRUTU.....	21
2.3.1.2 ČÍSELNÉ VYJÁDRĚNÍ ZÁKRUTU	22
2.3.2 TAŽNOST.....	23
2.3.2.1 TAŽNOST STAPLOVÝCH PŘÍZÍ	24
2.3.2.2 TAHOVÉ KŘIVKY RŮZNÝCH MATERIÁLŮ.....	25
2.4 TAHOVÉ NAMÁHÁNÍ.....	27
2.5 IDEÁLNÍ ŠROUBOVICOVÝ MODEL.....	28
2.5.1 MIGRACE VLÁKEN	31
2.5.2 MODELOVÉ TAŽNOSTI ZAKROUCENÝCH MULTIFILOVÝCH SVAZKŮ	32
2.6 GEGAUFFŮV MODEL	34
2.7 OBRAZOVÁ ANALÝZA	35
2.7.1 NIS-ELEMENTS	35
2.8 POUŽITÉ METODY ZPRACOVÁNÍ STATISTICKÝCH DAT.....	36
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	39
3.1 POSTUP EXPERIMENTU	39
3.2 POSTUP VÝPOČTU.....	40
3.3 ZÁKRUT	41
3.4 MĚŘENÍ JEMNOSTI.....	41
3.5 JEDNOOSÉ NAMÁHÁNÍ MULTIFILU.....	41
3.6 MATERIÁLY PRO EXPERIMENT	42
3.7 OBRAZOVÁ ANALÝZA	44
3.7.1 SKLONY FIBRIL.....	45
3.8 MĚŘENÍ TAŽNOSTI	49
3.9 LINEÁRNÍ ZÁVISLOST MEZI NAMĚŘENOU TAŽNOSTÍ A MODELOVÝMI HRANIČNÍMI TAŽNOSTMI ZAKROUCENÉHO MULTIFILU.....	50
3.10 PÁROVÝ T-TEST	51
4. MEZNÍ MODELOVÉ TAŽNOSTI U POLYESTERU 1	51
4.1 MEZNÍ MODELOVÉ TAŽNOSTI POLYESTERU 2.....	54
4.2 MEZNÍ MODELOVÉ TAŽNOSTI U POLYAMIDU 6	57
4.3 MEZNÍ MODELOVÉ TAŽNOSTI U VISKÓZY	60
4.4.1 MEZNÍ MODELOVÉ TAŽNOSTI U POLYESTERU 1 II.....	63
4.4.2 MEZNÍ MODELOVÉ TAŽNOSTI U POLYESTERU 2 II.....	66
4.5 DEFORMAČNÍ CHARAKTER VLÁKEN.....	68
4.6.1 ZHODNOCENÍ CYKlickÉHO NAMÁHÁNÍ.....	76
4.6 PŘÍČNÉ ŘEZY MULTIFILOVÝMI SVAZKY.....	77
5. ZÁVĚR	79
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:	81
7. PŘÍLOHY	83

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výroba multifílu, monofílu [1]	15
Obr. 2 Rozdělení multifílu dle materiálového složení [2].....	15
Obr. 3 Schéma výroby chemických vláken z taveniny [4].	18
Obr. 4 Dloužení vláken [4].....	19
Obr. 5 Princip vzniku trvalého zákrutu.....	20
Obr. 6 Geometrie zákrutu.....	21
Obr. 7 Tahová křivka příze [7].....	24
Obr. 9 Ukázka modelových tažností vybraných materiálů [13].....	25
Obr. 10 Dokonale elastické zotavení.	26
Obr. 11 Plastické deformace.	26
Obr. 12 Cyklické namáhání. 1-plastické deformace [11].....	27
Obr. 13 Model ideálního šroubovicového tvaru [12].....	29
Obr. 14 Geometrie vlákna v přízi. 1-nemigrující vlákno, 2-migrující vlákno.	32
Obr. 15 Závislost modelových hraničních tažností zakrouceného multifílu na Koechlinovu zákrutovém koeficientu [12].	34
Obr. 16 <i>INSTRON 4411</i> [19].....	42
Obr.17 Zařízení pro obrazovou analýzu v laboratořích KTT-FT-TUL [15].....	44
Obr.18 Podklad pro obrazovou analýzu.....	45
Obr. 19 Vypočítaný a naměřený úhel sklonu fibril před přetrhem α_b	47
Obr. 20 Závislost tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, <i>PES 1</i>	52
Obr. 21 Závislost tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, <i>PES 2</i>	55
Obr. 22 Závislost tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, <i>PA 6</i>	58
Obr. 23 Závislost tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, <i>CV</i>	61
Obr. 24 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu,.....	64
<i>PES I II</i>	64
Obr. 25 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, <i>PES 2 II</i>	67
Obr. 26 Cyklické namáhání 1 u <i>PES 1</i>	69
Obr. 27 Cyklické namáhání 2 u <i>PES 1</i>	70
Obr. 28 Cyklické namáhání 1 <i>PES 2</i>	71
Obr. 29 Cyklické namáhání 2 <i>PES 2</i>	72
Obr. 30 Cyklické namáhání 1 u <i>CV</i>	73
Obr. 31 Cyklické namáhání 2 u <i>CV</i>	74
Obr. 32 Cyklické namáhání 1 u <i>PA 6</i>	75
Obr. 33 Cyklické namáhání 2 u <i>PA 6</i>	76
Obr. 34 Příčný řez multifílovým svazkem <i>PES 1</i>	77
Obr. 35 Příčný řez multifílovým svazkem <i>PES 2</i>	77
Obr. 36 Příčný řez multifílovým svazkem <i>PA 6</i>	78
Obr. 37 Příčný řez multifílovým svazkem <i>CV</i>	78
Obr. 38 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, <i>PES 1</i>	84
Obr. 39 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, <i>PES 2</i>	86
Obr. 40 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, <i>PA 6</i>	88
Obr. 41 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, <i>CV</i>	90
Obr. 42 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, <i>CV</i>	92
Obr. 43 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, <i>PES 2 II</i>	94

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Měření jemnosti multifilů.....	42
Tab. 2 Stupně zákrutu u <i>PES 1</i>	43
Tab. 3 Stupně zákrutu u <i>PES 2</i>	43
Tab. 4 Stupně zákrutu u <i>PA 6</i>	43
Tab. 5 Stupně zákrutu u <i>CV</i>	43
Tab. 6 Stupně zákrutu u druzeného <i>PES 2</i>	44
Tab. 7 Stupně zákrutu u druzeného <i>PES 1</i>	44
Tab. 8 Sklon fibril α_b, α_c u <i>PES 1</i>	45
Tab. 9 Sklon fibril α_b, α_c u <i>PES 2</i>	46
Tab. 10 Sklon fibril α_b, α_c u <i>VI</i>	46
Tab. 11 Sklon fibril α_b, α_c u <i>PA 6</i>	46
Tab. 12 Sklon fibril α_b, α_c u druzeného <i>PL 1 II</i>	46
Tab. 13 Sklon fibril α_b, α_c u druzeného <i>PL 2 II</i>	47
Tab. 14 Výsledky měření tažnosti materiálů.....	50
Tab. 15 Výsledky měření tažnosti druzených materiálů.....	50
Tab. 16 Výsledky měření tažnosti materiálu <i>PES 1</i>	51
Tab. 17 Výpočet korelačních koeficientů u <i>PES 1</i>	53
Tab. 18 Výsledky měření tažnosti materiálu <i>PES 2</i>	54
Tab. 19 Výpočet korelačních koeficientů u <i>PES 2</i>	55
Tab. 20 Výsledky měření tažnosti materiálu <i>PA 6</i>	57
Tab. 21 Výpočet korelačních koeficientů u <i>PA 6</i>	58
Tab. 22 Výsledky měření tažnosti materiálu <i>CV</i>	60
Tab. 23 Výpočet korelačních koeficientů u <i>CV</i>	62
Tab. 24 Výsledky měření tažnosti druzeného materiálu <i>PES 1 II</i>	63
Tab. 25 Výpočet korelačních koeficientů u <i>PES 1 II</i>	64
Tab. 26 Výsledky měření tažnosti druzeného materiálu <i>PES 2 II</i>	66
Tab. 27 Výpočet korelačních koeficientů u <i>PES 2 II</i>	68
Tab. 29 Cyklické namáhání 2 <i>PES 1</i>	70
Tab. 30 Cyklické namáhání 1 <i>PES 2</i>	71
Tab. 31 Cyklické namáhání 2 <i>PES 2</i>	72
Tab. 32 Cyklické namáhání 1 u <i>CV</i>	73
Tab. 33 Cyklické namáhání 2 u <i>CV</i>	74
Tab. 34 Cyklické namáhání 1 u <i>PA 6</i>	75
Tab. 35 Cyklické namáhání 2 u <i>PA 6</i>	76
Tab. 36 Výsledky měření tažnosti materiálu <i>PES 1</i>	83
Tab. 37 Výsledky měření tažnosti materiálu <i>PES 2</i>	85
Tab. 38 Výsledky měření tažnosti materiálu <i>PA 6</i>	87
Tab. 40 Výsledky měření tažnosti materiálu <i>PES 1 II</i>	91
Tab. 41 Výsledky měření tažnosti materiálu <i>PES 2 II</i>	93

Použité zkratky a symboly

α	Koechlinův zákrutový koeficient [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]
α_s	Koechlinův zákrutový skací koeficient [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]
α_c	sklon fibril bez napětí [°]
α_b	sklon fibril těsně před přetrhem [°]
α_h	hladina zvolené významnosti
ε_b	tažnost nezakrouceného multifilového svazku [%]
ε_f	tažnost fibrily [%]
ε_y	tažnost multifilu [%]
σ_y	Poissonův poměr [-]
a_m	Phrixův zákrutový koeficient [$ktex^{2/3}.m^{-1}$]
A_p	práce vykonaná do přetrhu
C_y	kontrakční faktor [-]
CV	viskóza
D	průměr příze [mm]
F	absolutní pevnost v tahu [N]
H	hloubka pívotu
IS	interval spolehlivosti
h_0	délka multifilu před protažením [mm]
h_1	délka multifilu po protažení [mm]
l_m	dodávka materiálu ke krutnému orgánu [$m.min^{-1}$]
l_0	délka fibrily před protažením [mm]
l_1	délka fibrily po protažení [mm]
<i>Obr.</i>	obrázek
<i>PA 6</i>	polyamid 6
P_L	pívotová polosuma
<i>PES 1</i>	polyester 1
<i>PES 1 II</i>	polyester 1 družený
<i>PES 2</i>	polyester 2
<i>PES 2 II</i>	polyester 2 družený
R	korelační koeficient

R_L	.....	pivotové rozpětí
R_0	.....	poloměr "pomyslného" válce před protažením
R_1	.....	poloměr "pomyslného" válce po protažení
r_0	.....	poloměr "pomyslného" vnitřního válce před protážením
r_1	.....	poloměr "pomyslného" vnitřního válce po protážení
s	.....	směrodatná odchylka
s^2	.....	rozptyl.
t_L	.....	kvantil T_L rozdělení
T	.....	jemnost [tex]
$TUL-FT-KTT$	.....	technická univerzita v Liberci- fakulta textilní- katedra textilních technologií
x_i	.....	hodnoty jednotlivých měření
x_D	.....	hloubka dolního pivotu
x_H	.....	hloubka horního pivotu
\bar{x}	.....	aritmetický průměr
Z	.....	zákrut [1/m]
Z_s	.....	strojový zákrut [1/m]

1. ÚVOD

Popis vnitřního uspořádání jednotlivých vláken během zakrucování je složitý. Pro zjednodušení a možné výpočty se zavedl ideální šroubovicový model. Za předpokladu ideálního šroubovicového modelu jsou všechna vlákna zakroucena ve tvaru šroubovice a výška každého zákrutu je všude stejná. V praxi, zejména u staplových přízí, dochází k odklonu od ideálního šroubovicového modelu. Vlákna konečných délek umožňují vzájemný vlákenný posuv. Zakroucená vlákna již nejsou ve tvaru šroubovic, ale migrují na různé poloměry. Takzvaná efektivní migrace způsobí v zakrouceném svazku vláken či fibril jejich stabilní stav, tj. stav s minimální vnitřní energií.

U multifilového svazku, který je tvořen nekonečnými paralelně položenými vlákny, by k migraci vláken nemělo docházet. Tato skutečnost je zapříčiněna mimo jiné minimální možností posunu vláken po sobě.

Pro ověření skutečnosti, zda dochází k migraci fibril u zakrouceného multifilového svazku, je odvozen vztah z geometrie ideálního šroubovicového tvaru fibril. Dle tohoto vztahu lze vypočítat hraniční modelové tažnosti zakrouceného multifilu. Zakroucený multifil může mít dokonale elastické deformace nebo dokonale plastické deformace. Mezi těmito hraničními modelovými tažnostmi leží migrace vláken. Prvek ve výše zmíněném vztahu zohledňující mezní deformace a migraci fibril se nazývá kontrakční faktor, který je definován zvláště pro elastické deformace, plastické deformace a migraci fibril. Dosazením kontrakčního faktoru do výše zmíněného vztahu lze vypočítat mezní modelové deformace. Porovnáním mezních modelových deformací s naměřenou tažností zakrouceného multifilu lze určit, zda dochází k mezním deformacím nebo migraci fibril.

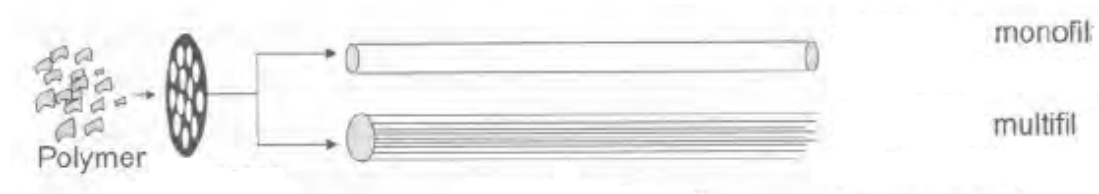
Pro experiment je zvoleno několik hladkých multifilových materiálů, na kterých je sledována závislost tažnosti na vzrůstajícím zákrutovém koeficientu. Experiment probíhal v laboratořích *KTT-FT-TUL*.

Pro návrháře nebo konstruktéra v textilním odvětví je velmi důležitá znalost mechanických vlastností použitých materiálů. Užití multifilů s vhodnými mechanickými vlastnostmi pro daný účel plní požadavky na daný výrobek. Pro tento účel je nutná znalost deformací u daného zakrouceného multifilového svazku.

2. REŠERNÍ ČÁST

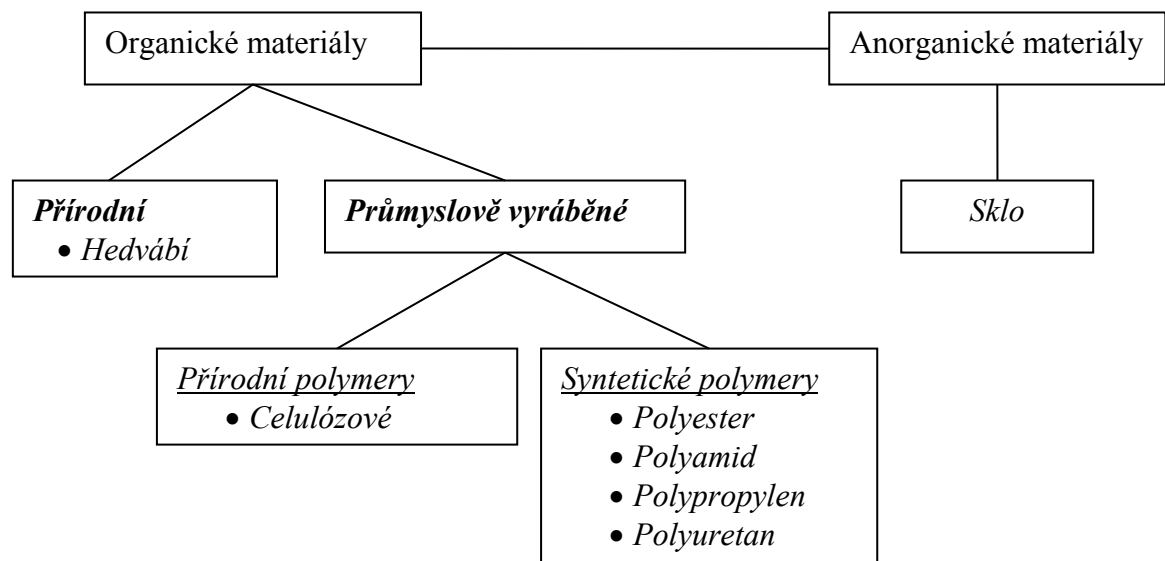
2.1 Multifil

Multifilová struktura se skládá z paralelně položených nekonečných vláken, která se nazývají fibrily. Fibrily jsou vyrobeny vytlačněním polymeru přes zvláknovací element, následně je vhodným technologickým procesem svazek zpevněn. Svazek nejméně dvou fibril je multifil, samostatný svazek je označen jako monofil Obr. 1. Multifil lze rozdělit do několika skupin dle materiálového složení nebo typu finálního zpevnění.



Obr. 1 Výroba multifilu, monofilu [1]

Rozdělení multifilu dle materiálového složení:



Obr. 2 Rozdělení multifilu dle materiálového složení [2]

Zpevňovací proces:

Ve zpevňovacím procesu se vhodným technologickým postupem vzhledem k materiálovému složení a účelu použití zpevňuje multifilový svazek. V určitých případech se nezpevňuje, jedná se o tzv. hladký multifil.

Břit nože

Multifilový svazek je zahřát na vyšší teplotu a natažen přes ostří nože v ostrém úhlu. Uvolněný ochlazený multifil je zvlněný.

Hromadění

Princip spočívá v ohřevu a hromadění multifilu v tzv. "výplňkové krabici". Hromadění je způsobeno nižší odtahovou rychlostí multifilu než přírodní. Tímto principem získávají fibrily náhodný tvar.

Vzduchová tryska

Patří mezi nejpoužívanější metody pro zpevnění multifilového svazku. Princip spočívá v hromadění fibril a následném působení vzduchové trysky. Touto metodou lze zpracovávat všechny materiály.

Nepravý zákrut

Je nejvíce rozšířená metoda pro přeměnu hladkých termoplastických multifilů. Princip nepravého zákrutu spočívá v zakroucení multifilu, ohřevu a následného rozkroucení multifilového svazku [3].

2.2 Výroba chemických vláken

Výroba chemických vláken se skládá z následujících operací:

- příprava ke zvlákňování,
- zvlákňování,
- dloužení,
- fixace,
- tvarování,
- řezání, trhání.

Při výrobě chemických vláken z polymeru je nejdříve granulát nebo roztok dopraven ke zvlákňovací trysce, kde dochází ke zvlákňování. Následuje odtah od zvlákňovací trysky a tuhnutí vláken ve zvlákňovací lázni, které probíhá: ztuhnutím pod tavnou teplotu polymeru, odpařením rozpouštědla, vysrážením vlivem srážecí lázně. Výsledkem předchozích operací je nedloužené vlákno, které má velmi malou orientaci řetězců. Postupem času nedloužené vlákno zkřehne. Po ztuhnutí nastává dloužení, čímž se orientují řetězce polymeru do osy vlákna. Vlákno má dloužicí poměr (poměr mezi dlouženým a nedlouženým vláknem) $\lambda_D = 3 - 5$. Ve výjimečných případech je poměr vyšší. Výsledné vlastnosti vlákna získává při fixaci, která se rozděluje:

- **Fixace izometrická:** probíhá za konstantní délky vlákna. Dochází zde k prokluzu jednotlivých řetězců.
- **Fixace izotonická:** bez napětí, dochází ke srážení jednotlivých vláken.

Aby mohla být vlákna vyrobena metodou zvlákňování, musí splnit tyto podmínky:

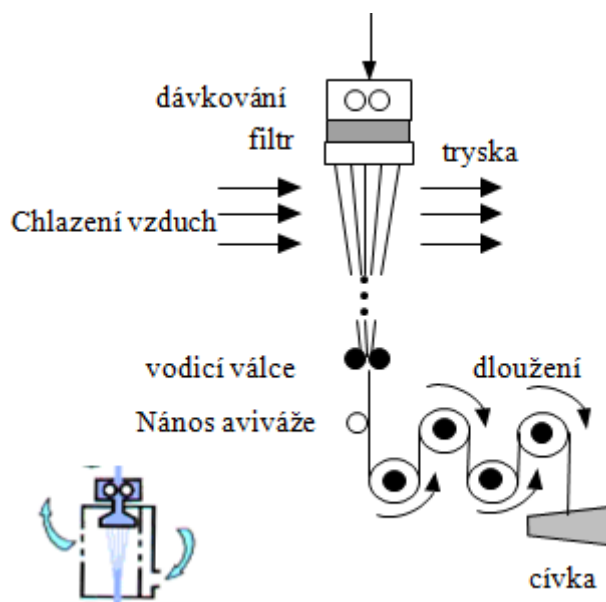
- Polymer musí být chemicky a termicky stálý během zvlákňování.
- Vydložené vlákno musí být před ztuhnutím neporušené.
- Vlákno musí být dloužením orientovatelné do osy [4].

2.2.1 Zvlákňování

Zvlákňování z taveniny

Pro zvlákňování z taveniny platí:

- zvlákňování probíhá do chladicí šachty, jejíž délka je přibližně jeden metr.
- rychlost zvlákňování závisí na intenzitě chlazení a na jemnosti odtahovaných vláken. V závislosti na těchto podmínkách se pohybuje odtah v rozmezí 400 - 10000 m.min⁻¹.
- Teplota rozkladu polymeru leží vysoko nad teplotou tání polymeru. Při překročení teploty rozkladu polymeru dochází k degradaci polymeru.



Obr. 3 Schéma výroby chemických vláken z taveniny [4]

Zvlákňování z roztoku

Tento typ zvlákňování se používá pro polymery, které se tavením rozkládají, nebo se tavit nedají. Zvlákňování z roztoku se rozděluje na dvě hlavní kategorie:

1. **Suchá metoda:** spočívá v principu odpaření rozpouštědla. Koncentrace polymeru ve zvlákňovací lázni se volí od 15 - 30%.
2. **Mokrý metoda:** je založena na principu vysrážení polymeru. Koncentrace polymeru je 5 - 25%, rychlost zvlákňování je nižší než u suché metody.

Gelové zvlákňování

Při gelovém zvlákňování se používá netěkavé rozpouštědlo, koncentrace polymeru je 5 - 10% s vysokou molekulovou hmotností. Po zvlákňování vznikne polymerní gel, určený pro vysoký stupeň dlužení.

Elektrostatické zvlákňování

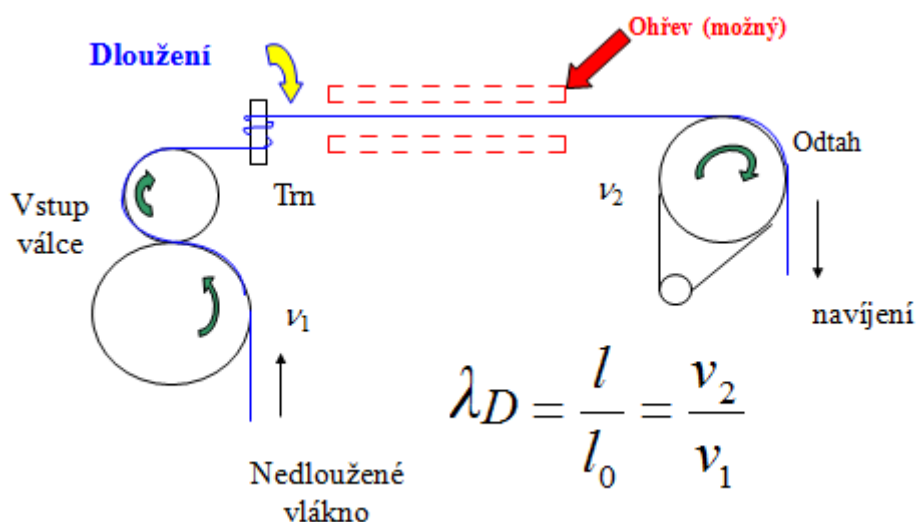
Metoda je založena na principu působení silného elektrostatického pole na taveninu polymeru. Vzniklá vlákna jsou odtažována nejčastěji na textilní podložky. Elektrostatickým zvlákňováním lze dosáhnout velmi malých průměrů vláken v řádu

10^{-9} m. Takto vyrobená vlákna jsou pro své vlastnosti (zejména specifický povrch) využívána zvláště pro výrobu membrán a filtrů [4,5].

2.2.2 Dloužení

Principem dloužení je orientace řetězců ve směru osy vlákna. Dloužením se vlákno protáhne o 20 - 2000% vzhledem k původní délce l_0 . Dloužicí poměr je vyjádřen jako délka dlouženého vlákna ku délce nedlouženého vlákna.

V nedlouženém vlákne je 33% orientovaných řetězců ve směru osy vlákna, ve dlouženém vlákne je 80-90% orientovaných řetězců ve směru osy vlákna. Dloužením se zmenší tažnost, ale zvětší se pevnost vlákna.



Obr. 4 Dloužení vláken [4].

2.2.3 Fixace

Vlivem technologie výroby syntetických vláknech je ve struktuře vnitřní napětí, které způsobuje srážení, lomy vláken a tvarovou nestabilitu. Vlivem působení tepla na vlákno dochází k rozkmitání řetězců makromolekul, které může způsobit porušení makromolekulárních vazebných sil, to má za následek změnu vnitřního uspořádání makromolekul polymeru. Účelem fixace je:

- rozměrová stabilita vláken,
- zmenšení vnitřního napětí ve vlákne,
- stabilizace vlákenné struktury.

Metody fixace:

1. působením suchého tepla

- horkým vzduchem,
- kontaktním teplem,
- sálavým teplem.

2. působením vlhkého tepla

- nasycenou nebo přehřátou párou,
- horkou vodou [4,6].

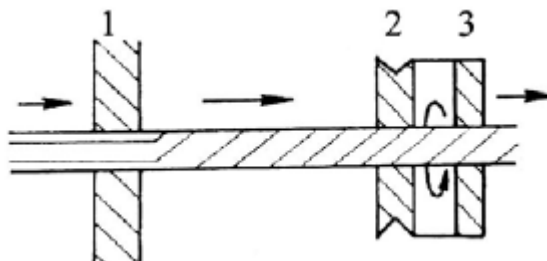
2.3 Základní parametry délkového útvaru

2.3.1 Zákrut

Vláknový produkt je třeba během technologického postupu zpevňovat. Existují dva druhy zákrutu: trvalý a nepravý. Zákrutem se rozumí zakroucení vláken ve směru šroubovice kolem osy vlákna [7].

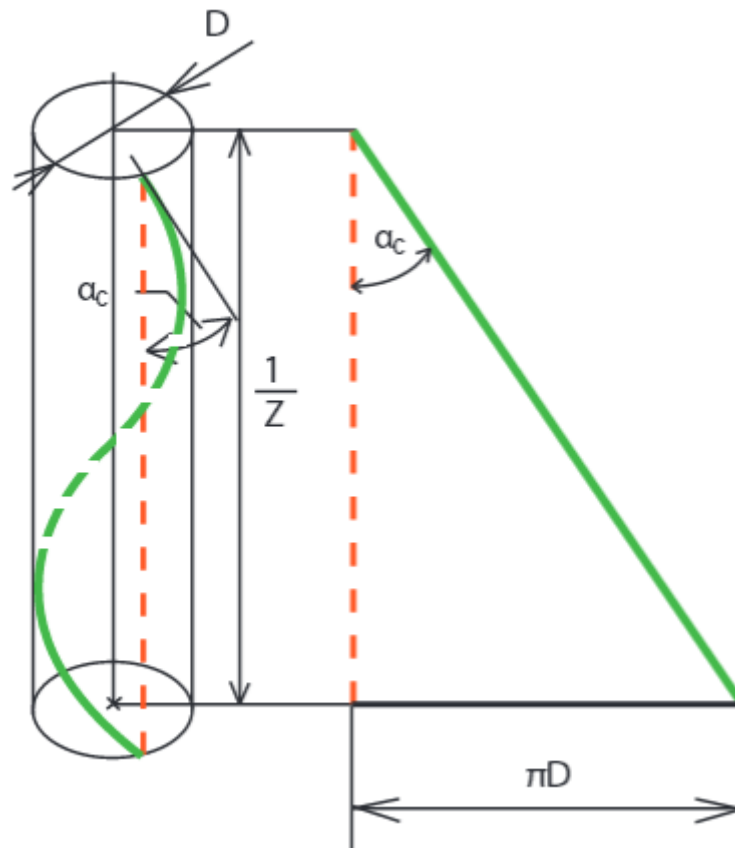
Trvalý zákrut

Trvalý zákrut vzniká zakrucováním jedním směrem kolem osy vláknenného materiálu. Zákrut se vyjadřuje počtem otáček zákrutového ústrojí na jeden metr délky. Dle směru udělování zákrutu se rozděluje zákrut na levý *S* a pravý *Z*. Tímto druhem zakrucování lze dosáhnout největšího zpevnění vláknenného materiálu. Podmínkou pro udělení trvalého zákrutu je, aby se zákrutovým ústrojím rotovalo buď odváděcí, nebo přiváděcí ústrojí.



Obr. 5 Princip vzniku trvalého zákrutu. 1- podávací ústrojí, 2 - zákrutové ústrojí, 3 - odváděcí ústrojí [8].

2.3.1.1 Geometrie zákrutu



Obr. 6 Geometrie zákrutu

Definice

Povrchová vlákna v zakroucené přízi mají sklon šroubovice se sklonem α_c , kde výška jednoho zákrutu odpovídá $1/Z$. Rozvinutím válce vznikne trojúhelník, z kterého lze definovat jeden ovin. Z tohoto trojúhelníku lze určit:

$$\operatorname{tg} \alpha_c = \pi D / (1/Z) = \pi D Z \quad (1)$$

Dprůměr příze [mm],

Z zákrut [1/m],

α_csklon povrchových vláken bez napětí [°] [9].

2.3.1.2 Číselné vyjádření zákrutu

Koechlinův vztah

Tento vztah se používá pro vlákenné útvary s vyšší jemností.

Jednoduché útvary:

$$Z = \alpha \cdot \frac{31,623}{\sqrt{T}} [m^{-1}] \quad (2)$$

α Koechlinův zákrutový koeficient [$ktex^{1/2} \cdot m^{-1}$],

T jemnost příze [tex],

Zpočet zákrutů na metr [1/m].

Skané příze:

$$Z_s = \alpha_s \cdot \frac{31,623}{\sqrt{nT_i}} [m^{-1}] \quad (3)$$

α_s Koechlinův zákrutový skací koeficient [$ktex^{1/2} \cdot m^{-1}$],

T jemnost příze [tex],

Zpočet zákrutů skané příze [1/m],

npočet seskávaných přízí.

Phrixův vztah

Tento vztah se užívá pro stanovení zákrutů u nižších jemností.

$$Z = a_m \cdot \frac{100}{\sqrt[3]{T^2}} [m^{-1}] \quad (4)$$

a_m Phrixův zákrutový koeficient [$ktex^{2/3} \cdot m^{-1}$],

T jemnost příze [tex],

Zpočet zákrutů příze [1/m].

Strojový zákrut

Jedná se o vztah udávající počet zákrutů udělený přádelnickým strojem vlákennému útvaru na jednotku délky.

$$Z_s = \frac{n}{l_m} [m^{-1}] \quad (5)$$

n otáčky krutného orgánu [min^{-1}],

l_m dodávka vlákenného materiálu ke krutnému orgánu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] [10].

2.3.2 Tažnost

Tažnost je poměrné prodloužení příze do přetržení. Zkouška tažnosti probíhá souběžně se zkouškou pevnosti na trhacím stroji.

Z hlediska namáhání multifilového svazku se jedná o jednoosé namáhání. Hodnota tažnosti multifilového svazku [%] je definovaná vztahem (6). Vztah mezi prodloužením a působící silou zobrazuje tahová křivka, Obr. 7. Mezi nejdůležitější charakteristiky tahové křivky patří *mez kluzu*. Před tímto bodem je chování multifilového svazku *elastické*, za mezi kluzu je *plastické*. Mezi plastickým a elastickým chováním není pevně stanovená hranice. Pro definování této hranice z tahové křivky se užívá:

- metoda nulového sklonu,
- prahový sklon,
- vyrovnávací mez kluzu,
- Meredithova konstrukce.

Dalším důležitým parametrem charakterizující tažnost multifilového svazku je *počáteční modul tažnosti*. Tento parametr charakterizuje tuhost proti protažení. Čím vyšší je hodnota *počátečního modulu tažnosti*, tím je multifilový svazek odolnější proti protažení [7,11].

Výpočet tažnosti:

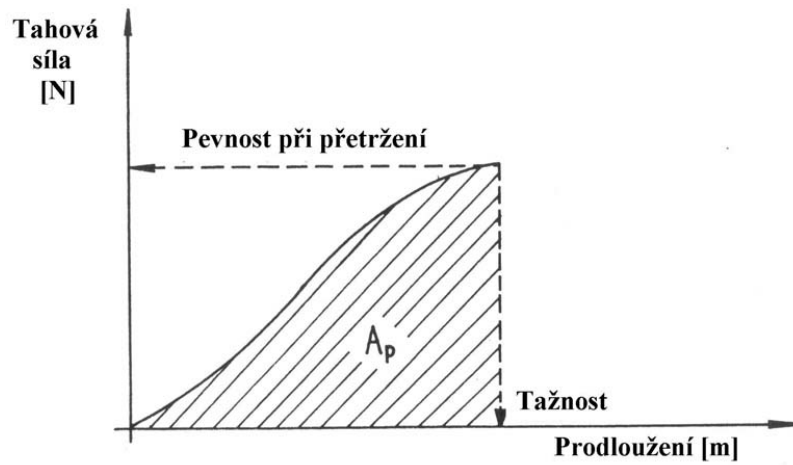
$$\varepsilon_p = \frac{L_p - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (6)$$

L_p délka příze před přetržením [mm],

L_0 délka příze po přetržení [mm],

ε_p tažnost příze [%].

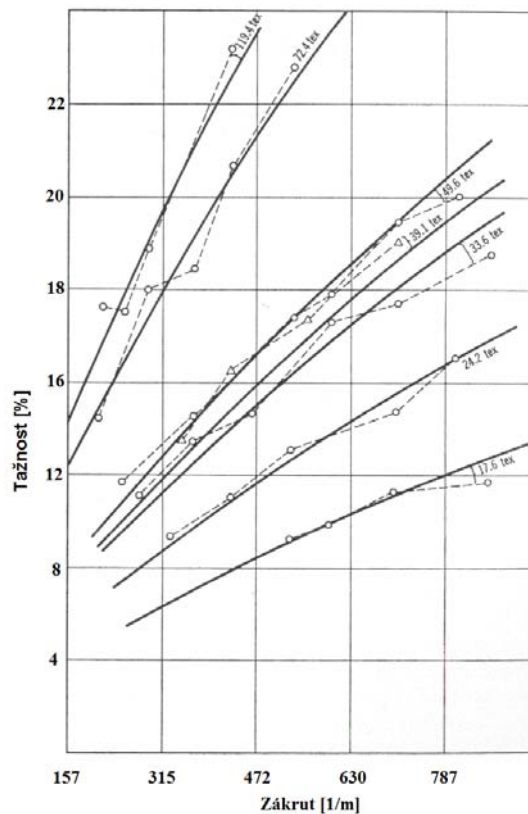
Práce do přetrhu A_p je definována jako energie potřebná do přetrhu multifilu.



Obr. 7 Tahová křivka příze [7]

2.3.2.1 Tažnost staplových přízí

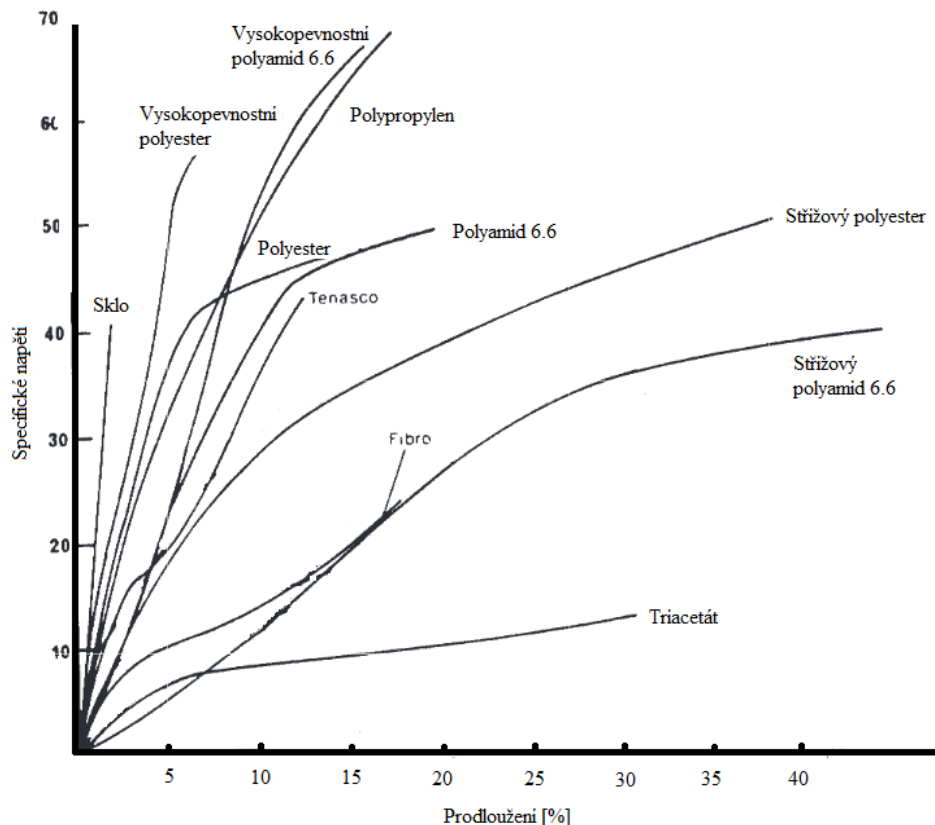
Bylo experimentálně zjištěno, že tažnost staplových přízí se se zvyšujícím se zákrutem vždy roste, Obr. 8.



Obr. 8 Tažnost staplových přízí v závislosti na zákrutu [12]

2.3.2.2 Tahové křivky různých materiálů

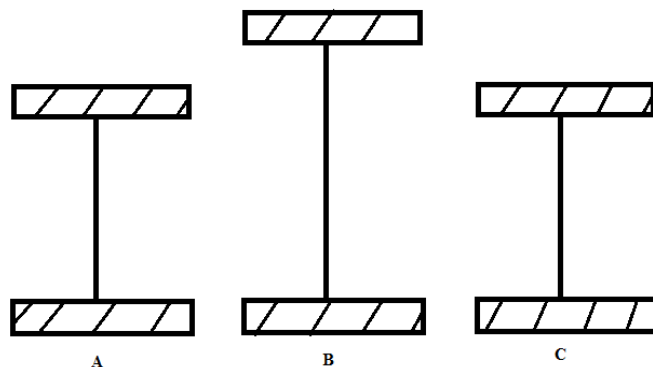
Na Obr. 9 jsou zobrazeny tažnosti vybraných materiálů. Na těchto grafech jsou vidět rozdílné modelové tažnosti jednotlivých materiálů. Tahové křivky se mohou lišit i v rámci jednoho materiálu vlivem rozdílného technologického postupu, nebo odlišným chemickým složením.



Obr. 9 Ukázka modelových tažností vybraných materiálů [13]

Dokonale elastické zotavení

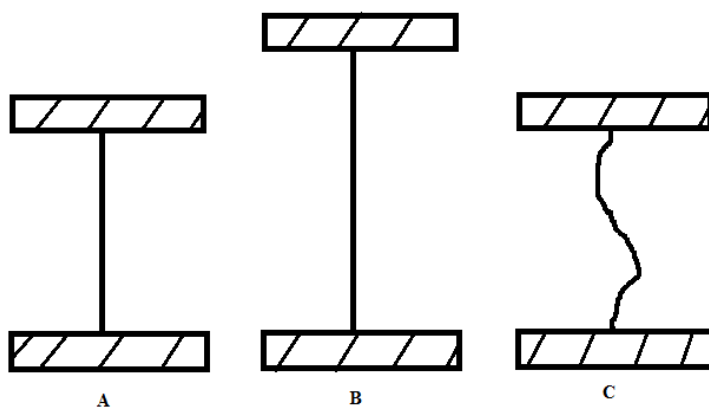
Dokonale elastický multifilový svazek bude mít po tahovém namáhání úplné zotavení. Po tahovém namáhání má multifilový svazek s dokonale elastickým zotavením stejnou délku jako výchozí, Obr. 8. Samotná vlastnost elastického zotavení multifilu závisí na materiálu, užití síle, době působení tahové síly a času poskytnutém pro zotavení.



Obr. 10 Dokonale elastické zotavení. A-před protažením, B-protážení, C-po protažení.

Plastické deformace

Při plastických deformacích nedochází k úplnému zotavení, po tahovém namáhání má multifilový svazek větší délku než výchozí. Dochází zde k trvalým deformacím.



Obr. 11 Plastické deformace. A-před protažením, B-protážení, C-po protažení.

Viskoelastické deformace

Tyto deformace jsou závislé na velikosti působící síly, materiálu a času poskytnutém pro zotavení. Pokud se po tahové zkoušce poskytne čas potřebný pro zotavení multifilu, bude mít multifil elastické zotavení v opačném případě plastické deformace.

2.4 Tahové namáhání

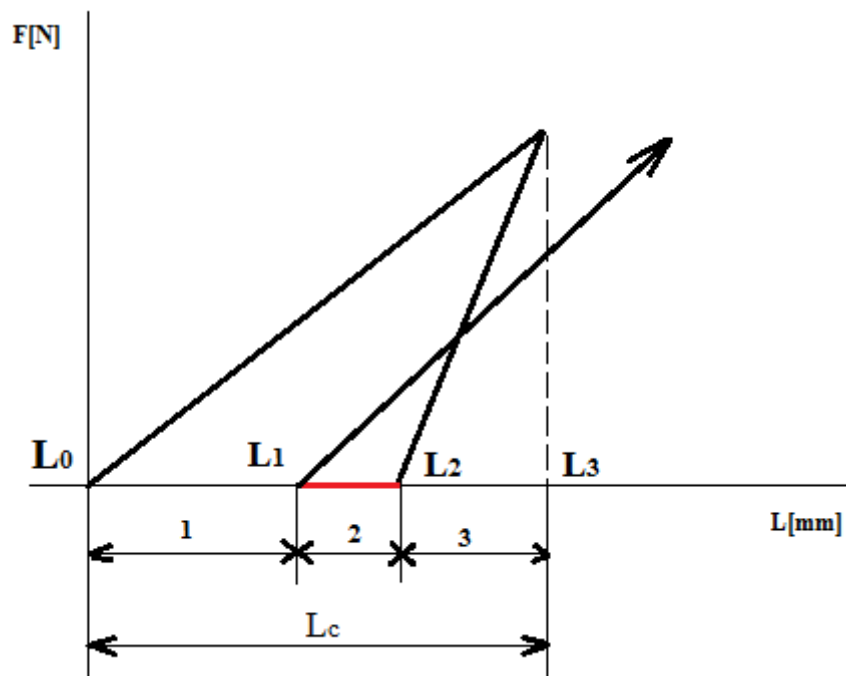
Tahové namáhání může probíhat v jedné ose, ve dvou osách a multiaxiálně.

Rozdělení jednoosého namáhání dle cyklů:

1. **Polovina cyklu:** tahové namáhání multifilového svazku do přetrhu.
2. **Celý cyklus:** tahové namáhání do určitého procenta tažnosti a následné uvolnění.
3. **Několik cyklů za sebou:** Několik tahových namáhání následujících po sobě [11].

Cyklické namáhání

Při cyklickém namáhání se multifil podrobuje tahovému namáhání a následnému odlehčení. Je-li materiál namáhán do své meze kluzu, jde především o elastické zotavení, pokud je namáhán nad svoji mez kluzu, jde o plastické deformace. Mezi elastickým zotavením a plastickými deformacemi leží viskoelastické deformace. Výsledkem cyklického namáhání je Obr.12, který lze rozdělit na tři složky: *elastické zotavení, plastické deformace, viskoelastické deformace*.



Obr. 12 Cyklické namáhání. 1-plastické deformace, 2- viskoelastické deformace, 3- elastické zotavení [11]

Výpočet jednotlivých složek

Elastické zotavení

$$\varepsilon_{\text{elastické}} = \frac{L_3 - L_2}{L_c} 100 \quad [\%] \quad (7)$$

Viskoelastické deformace

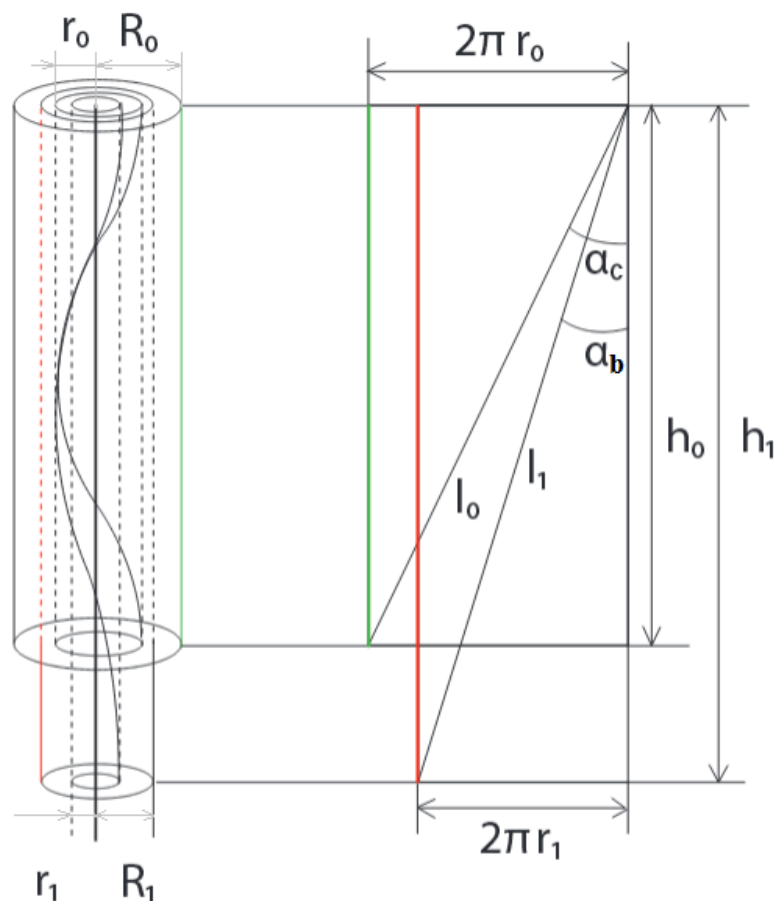
$$\varepsilon_{\text{viskoelastické}} = \frac{L_2 - L_1}{L_c} 100 \quad [\%] \quad (8)$$

Plastické deformace

$$\varepsilon_{\text{plastické}} = \frac{L_1 - L_0}{L_c} 100 \quad [\%] \quad (9)$$

2.5 Ideální šroubovicový model

V ideálním šroubovicovém modelu jsou všechna vlákna ve tvaru šroubovice se společnou osou multifilu, výška každého ovinu je stejná. Filamenty na vnějším poloměru multifilu opisují delší dráhu, jsou pod určitým napětím vzniklým zákrutem. Filamenty, které jsou uprostřed multifilu, opisují velmi malou až nulovou dráhu. Napětí vzniklé zákrutem je v těchto filamentech velmi malé až nulové. V ideálním šroubovicovém modelu nedochází k migraci vláken.



Obr. 13 Model ideálního šroubovicového tvaru [12]

Kontrakční faktor

Kontrakční faktor určuje poměr mezi nezakrouceným a zakrouceným svazkem.

$$C_y = \frac{L_0}{L_c} \tag{10}$$

L_0délka nezakrouceného svazku,

L_cdélka svazku po zakroucení.

$$\text{prodloužení vnitřních filamentů} = \frac{L_b - L_0}{L_0} = \frac{1 + \varepsilon_y}{C_y} - 1 \tag{11}$$

$$\text{prodloužení vnějších filamentů} = \frac{L_b \sec \alpha_b - L_0}{L_0} = \frac{1 + \varepsilon_y}{C_y} \sec \alpha_b - 1 \tag{12}$$

Teoretický výpočet tažnosti filamentů:

$$\frac{1 + \varepsilon_y}{C_y} \sec \alpha_b - 1 = \varepsilon_b \tag{13}$$

po úpravě:

$$\varepsilon_y = (1 + \varepsilon_b)C_y \cos \alpha_b - 1 \quad (14)$$

Teoretický výpočet sklonu vláken před přetrhem α_b :

$$\varepsilon_y = (h_1 - h_0) / h_0 \Rightarrow h_1 = (\varepsilon_y h_0) + h_0 \quad (15)$$

$$\varepsilon_f = (l_1 - l_0) / l_0 \quad (16)$$

$$\sigma_y = -\frac{(r_1 - r_0) / r_0}{(h_1 - h_0) / h_0} = -\frac{(r_1 - r_0) / r_0}{\varepsilon_y} \Rightarrow \sigma_y = -\frac{(r_1 - r_0)}{r_0 \varepsilon_y} \quad (17)$$

$$\varepsilon_y = -\frac{(r_1 - r_0)}{r_0 \sigma_y} = -\frac{r_1}{r_0 \sigma_y} + \frac{r_0}{r_0 \sigma_y} = -\frac{r_1}{r_0 \sigma_y} + \frac{1}{\sigma_y} \quad (18)$$

$$\varepsilon_y - \frac{1}{\sigma_y} = -\frac{r_1}{r_0 \sigma_y} \Rightarrow \sigma_y \left(\varepsilon_y - \frac{1}{\sigma_y} \right) = -\frac{r_1}{r_0} \quad (19)$$

$$(1 - \varepsilon_y \sigma_y) = \frac{r_1}{r_0} \Rightarrow \frac{r_0}{r_1} = \frac{1}{1 - \varepsilon_y \sigma_y} \quad (20)$$

$$m = \frac{\tan \alpha_c}{\tan \alpha_b} = \frac{\frac{r_0}{h_0}}{\frac{r_1}{h_1}} = \frac{r_0 h_1}{r_1 h_0} = \frac{r_0 (\varepsilon_y h_0 + h_0)}{r_1 h_0} = \frac{r_0}{r_1} (\varepsilon_y + 1) = \frac{1}{1 - \varepsilon_y \sigma_y} (\varepsilon_y + 1) \quad (21)$$

Při malých deformacích multifilu se za parametr σ_y dosazuje hodnota 0,5. Parametr α_b se tedy určí:

$$\frac{\tan \alpha_b}{\tan \alpha_c} = \frac{1 - \frac{1}{2} \varepsilon_y}{1 + \varepsilon_y} \quad (22)$$

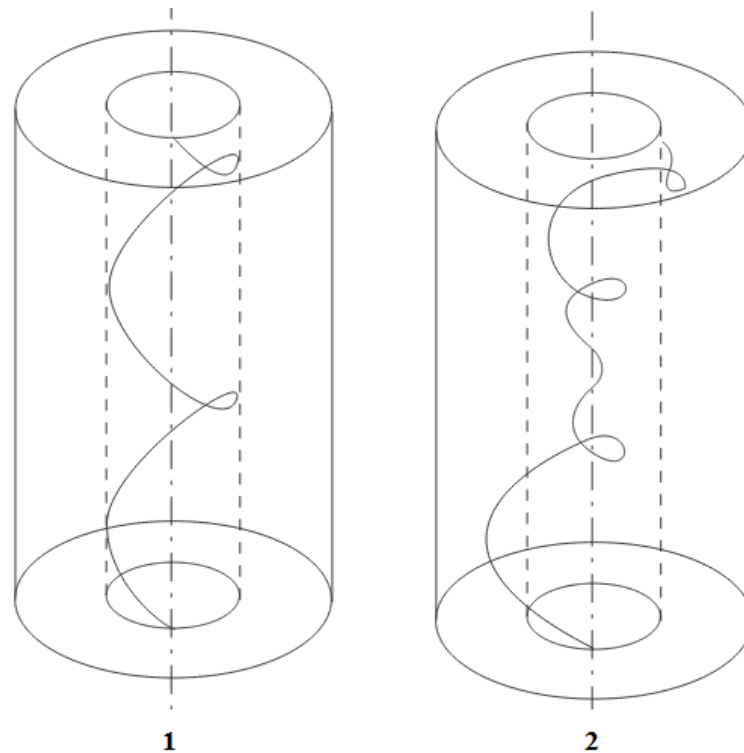
po úpravě:

$$\alpha_b = \arctan\left(\frac{(1 - 0,5\varepsilon_y) \tan \alpha_c}{1 + \varepsilon_y}\right) \quad (23)$$

h_0 délka multifilu před protažením,
 h_1 délka multifilu po protažení,
 ε_y tažnost multifilu,
 l_0 délka fibrily před protažením,
 l_1 délka fibrily po protažení,
 ε_f tažnost fibrily,
 α_c sklon vláken před protažením,
 α_b sklon vláken těsně před přetrhem,
 R_0 rádius "pomyslného" válce před protažením,
 R_1 rádius "pomyslného" válce po protažení,
 r_0 rádius "pomyslného" vnitřního válce před protažením,
 r_1 rádius "pomyslného" vnitřního válce po protažení,
 σ_y Poissonův poměr
 ε_b tažnost nezakrouceného multifilového svazku [12].

2.5.1 Migrace vláken

Migrace vláken je odklon od ideálního geometrického šroubovicového tvaru. Migrace vláken má tendenci vyrovnávat rozdíly v napětí mezi vnějšími a vnitřními filamenti během zakrucování. Když je migrace zcela efektivní a celkové napětí v přízi je nízké, pak výsledná příze nebude mít plastické ani elastické deformace. Když je zákrutové napětí vysoké a rozdělené stejně mezi vnější a vnitřní filamenti, pak uvolněná příze (její konce byly sevřeny při zákrutu) je kombinací plastických a elastických deformací. Podíly dvou efektů závisí na deformačních vlastnostech filamentů. Na Obr. 14 je zobrazena migrace vláken. V případě č. 1 má vlákno šroubovicový tvar. V případě č. 2 již vlákno neopisuje šroubovici, jeho tvar je náhodný-migruje.



Obr. 14 Geometrie vlákna v přízi. 1-nemigrující vlákno, 2-migrující vlákno.

2.5.2 Modelové tažnosti zakroucených multifilových svazků

Zakroucený a následně uvolněný multifilový svazek se může chovat dle modelových hraničních stavů: *dokonale plasticky*, nebo *dokonale elasticky*. Mezi těmito hraničními stavy je chování zakrouceného multifilového svazku definované jako *migrace* vláken.

Teoretická hodnota tažnosti modelových hraničních stavů zakrouceného multifilového svazku je vyjádřena vzorcem (14). V tomto vzorci je *kontrakční faktor* C_y , který je samostatně definován pro všechny tři modelové stavy. Výsledkem výpočtů jednotlivých modelových hraničních stavů ze vztahu (14) je graf znázorněný na Obr.15.

1. Dokonale elastické chování

Dokonale elastické chování nastává, pokud se jednotlivé fibrily smrští na svoji původní délku před zakroucením. Takto zakroucené fibrily způsobí zborcení vlákněné struktury.

Kontrakční faktor pro výpočet dokonale elastického chování:

$$C_y = \frac{1}{\cos \alpha_c} \quad (24)$$

Tažnost dokonale elastického multifilového svazku:

$$\varepsilon_y = (1 + \varepsilon_b) C_y \cos \alpha_b - 1 \quad (14)$$

$$\varepsilon_y = (1 + \varepsilon_b) \frac{\cos \alpha_b}{\cos \alpha_c} - 1 \quad (25)$$

C_y kontrakční faktor,

α_c sklon zakrouceného svazku vláken bez napětí.

2. Dokonale plastické chování

Při dokonale plastickém chování nedochází k smrštění vnějších vláken ani ke zborcení vlákněné struktury. Fibrily jsou na svém místě vlivem zákrutu. Plastické deformace mají tendenci snižovat tažnost.

Kontrakční faktor dokonale plastického chování:

$$C_y = 1 \quad (26)$$

Tažnost dokonale plastického multifilového svazku:

$$\varepsilon_y = (1 + \varepsilon_b) C_y \cos \alpha_b - 1 \quad (14)$$

$$\varepsilon_y = (1 + \varepsilon_b) \cos \alpha_b - 1 \quad (27)$$

3. Migrace vláken

Tento stav se nachází mezi dokonale elastickým a dokonale plastickým stavem. Nedochází zde k plastickým ani elastickým deformacím.

$$C_y = \frac{1}{2}(1 + \sec \alpha_c) \quad (28)$$

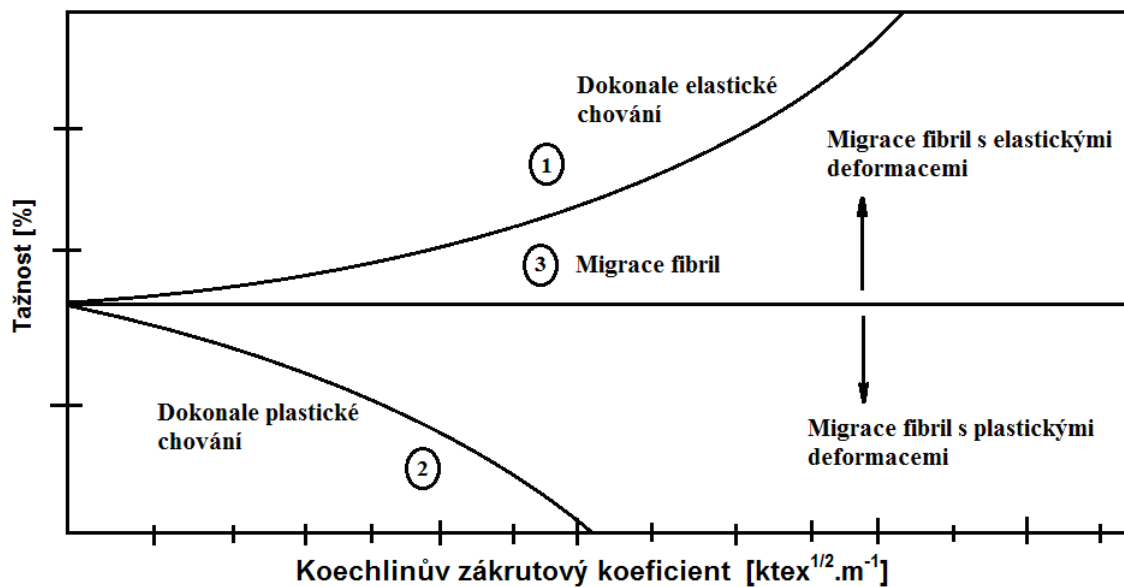
Migrace vláken multifilového svazku:

$$\varepsilon_y = (1 + \varepsilon_b) C_y \cos \alpha_b - 1 \quad (14)$$

$$\varepsilon_y = (1 + \varepsilon_b) \frac{\cos \alpha_b}{2} \left(1 + \frac{1}{\cos \alpha_c}\right) - 1 \quad (29)$$

C_y kontrakční faktor,

α_c sklon vláken zakrouceného svazku bez napětí.



Obr. 15 Závislost modelových hraničních tažností zakrouceného multifilu na Koechlinovu zákrutovém koeficientu [12]

Na obr. 15 je znázorněna závislost modelových hraničních stavů tažnosti multifilu na Koechlinovu zákrutovém koeficientu. V tomto obrázku jsou znázorněny tři teoretické možnosti, podle nichž se může zakroucený multifilový svazek chovat. Křivka s číslem 1 je případ, kdy se multifil chová jako dokonale elastický. Křivka 3 označuje situaci, kdy se multifilový svazek chová dle modelové situace: migrace vláken. V tomto stavu nedochází k zborcení vnitřních fibril ani k plastickým deformacím. Křivka 2 označuje dokonale plastické chování. Tyto křivky jsou pouze modelové hraniční hodnoty, experimentální hodnoty tažnosti zakroucených multifilových svazků se mohou lišit [12].

2.6 Gegauffův model

Gegauffův model je další model popisující tažnost zakrouceného multifilového svazku vycházející z předpokladu ideálního šroubovicového tvaru. V tomto modelu nejsou zohledněny možné deformace vznikající zakrucováním multifilového svazku. Tento model nepočítá s migrací vláken. Podrobné odvození modelu viz. přednášky *SVT* [9].

Vztah popisující tažnost zakrouceného multifilového svazku:

$$(1 + \varepsilon_b)^2 = 1 + 2\varepsilon_y (\cos^2 \alpha_c - \sigma_y \sin^2 \alpha_c) + \varepsilon_a^2 (\cos^2 \alpha_c + \sigma_y^2 \sin^2 \alpha_c) \quad (30)$$

Zjednodušující předpoklad: poměrná prodloužení jsou malá: $\varepsilon_b^2 \rightarrow 0$; $\varepsilon_y^2 \rightarrow 0$

Po dosazení zjednodušujícího předpokladu poměrného prodloužení:

$$\varepsilon_b = \varepsilon_y (\cos^2 \alpha_c - \sigma_y \sin^2 \alpha_c) \Rightarrow \varepsilon_y = \frac{\varepsilon_b}{\cos^2 \alpha_c - \sigma_y \sin^2 \alpha_c} \quad (31)$$

Vztah pro $\sigma_y=0$, který odvodil Gegauff (r. 1907)

$$\varepsilon_y = \frac{\varepsilon_b}{\cos^2 \alpha_c} \quad (32)$$

Vztah pro $\sigma_y=0,5$

$$\varepsilon_y = \frac{\varepsilon_b}{\cos^2 \alpha_c - 0,5 \sin^2 \alpha_c} \quad (33) [9].$$

2.7 Obrazová analýza

Obrazová analýza je zastoupena téměř ve všech technických odvětvích. Proces obrazové analýzy představuje soubor několika operací.

2.7.1 Nis-elements

NIS-elements je software sloužící pro obrazovou analýzu. Software primárně zpracovává barevné, šedotónové a binární obrazy. Typy měření v *NIS-elements* : objektové, texturální a interaktivní.

Interaktivní měření

Slouží k měření vzdáleností, kruhů, plochy a úhlů. Možnost výpočtu základní statistiky z naměřených parametrů [14].

2.8 Použité metody zpracování statistických dat

Ke statistickému zpracování dat byly použity tyto vztahy:

Aritmetický průměr

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (34)$$

n počet měření,

x_i hodnoty jednotlivých měření.

Rozptyl

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (35)$$

n počet měření,

x_i hodnoty jednotlivých měření,

\bar{x} aritmetický průměr.

Směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{s^2} \quad (36)$$

s^2 rozptyl.

Analýza malých výběrů : Hornův postup

Statistické závěry jsou vždy zatíženy jistou mírou nejistoty. Hornův postup je založen na pořádkových statistikách. Tento výpočet intervalů spolehlivosti ve využívá v případě, kdy je počet měření: $4 \leq n \leq 20$.

Hloubka pivotu:

$$H = (\text{int}((n + 1) / 2) / 2) \quad (37)$$

n počet měření.

Dolní pivot:

$$x_D = x_{(H)} \quad (38)$$

Horní pivot:

$$x_H = x_{(n+1-H)} \quad (39)$$

n počet měření,

H hloubka pivotu.

Pivotová polosuma:

$$P_L = \frac{X_D + X_H}{2} \quad (40)$$

Pivotové rozpětí:

$$R_L = X_H - X_D \quad (41)$$

95% interval spolehlivosti střední hodnoty

$$P_L - R_L t_{L,0.975}(n) \leq \mu \leq P_L + R_L t_{L,0.975}(n) \quad (42)$$

t_L kvantil T_L rozdělení

Test významnosti korelačního koeficientu

$$t = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad (43)$$

Rkorelační koeficient,

npočet měření.

Párový t-test

Tento test se používá v případě, kdy jsou na každém z n objektů měřeny dvě veličiny (X, Y). Jednotlivé objekty lze zpravidla považovat za nezávislé, ale měření na nich nikoliv.

$$T = \frac{|x - \bar{x}|}{s} \sqrt{(n)} \quad (44)$$

Je-li:

$$|T| \geq t_{n-1}(1 - \alpha_h / 2) \text{ nulová hypotéza se zamítá.} \quad (45)$$

xhodnoty jednotlivých měření,

npočet měření,

α_hhladina zvolené významnosti,

t_{n-1} kvantil rozdělení [15,16].

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

CÍL EXPERIMENTU:

Experimentální část se zabývá problematikou migrace filamentů v zakrouceném multifilu a následným ověřením vztahu (14) pro modelové hraniční tažnosti zakroucených multifilů. Migrace fibril je odklon od geometrického ideálního šroubovicového tvaru Obr. (14). Zakroucený a natažený multifilový svazek se může chovat dle modelových situací: dokonale elasticky, nebo dokonale plasticky. Mezi těmito hraničními modelovými stavy tažností se nachází migrace fibril. Dosazením naměřených hodnot tažností zakroucených multifilových svazků do výsledných grafů, popisujících závislost modelových hraničních tažností na zákrutovém koeficientu, lze ověřit, zda vztah (14) odpovídá skutečným naměřeným hodnotám tažností. Dle naměřených hodnot tažností zakrouceného multifilu se určí, zda dochází k migraci fibril a případným deformacím. Pro zjištění deformačního charakteru jednotlivých materiálů bylo provedeno cyklické namáhání.

Za předpokladu, že by se naměřená tažnost zakrouceného multifilového svazku výrazně lišila od modelových hraničních tažností, tak vzorec (14) nelze použít v praxi. Jednalo by se pouze o teoretický model výpočtu modelových hraničních tažností zakrouceného multifilového svazku bez praktického využití.

3.1 Postup experimentu

Experiment probíhal v laboratořích TUL-FT-KTT. Pro experimentální část byly zvoleny čtyři různé druhy multifilových materiálů. Pro ověření vztahu (14) modelových hraničních tažností zakrouceného multifilového svazku byly u každého materiálu zvoleny čtyři stupně zákrutu.

Pro výpočet ze vzorce (14) je nutné naměřit parametry: ϵ_b , α_b , α_c . Tažnost nezakrouceného multifilového svazku je označena ϵ_b . Tato tažnost je naměřena 20-krát.

Pro naměření sklonu fibril bez napětí α_c je multifilový svazek opatřen příslušným stupněm zákrutu a následně přenesen ve speciálním přípravku pod makroskop, kde se naměřila hodnota sklonu fibril pomocí interaktivní metody v programu *NIS-elements*, viz kapitola 2.7 Obrazová analýza. Sklon fibril bez napětí je proměřen 20-krát.

Pro naměření sklonu fibril před přetrhem α_b , se nejprve naměřila tažnost multifilového svazku s příslušným stupněm zákrutu. Z těchto naměřených dvaceti hodnot tažností je vypočtena střední hodnota tažnosti na daném stupni zákrutu. Ze střední hodnoty tažnosti multifilu na daném stupni zákrutu je vypočítána 95% hodnota tažnosti. Na vypočítané 95% hodnotě ze střední hodnoty tažností je uvažován sklon fibril těsně před přetrhem α_b . Na zákrutoměru se udělil příslušný stupeň zákrutu, ve speciálním přípravku se přemístil do trhacích čelistí *INSTRONU* 4411. Následně se ručním posuvem multifil s daným stupněm zákrutu natáhnul na vypočítanou 95% hodnotu ze střední hodnoty tažnosti a přemístil ve speciálním přípravku pod makroskop, kde se provedla obrazová analýza.

Sklon fibril se zprvu snímal makroskopem, který byl umístěn přímo na statickém podstavci u *INSTRONU* 4411. Program ovládající makroskop umožňuje snímání a vytvoření snímků v krátkém časovém úseku - videozáznam. Vzhledem k obtížné manipulaci s makroskopem a snímkům neodpovídající kvality byl tento princip zamítnut. Náhradní řešení snímání sklonu fibril je popsáno výše. Provedeno je na stejném makroskopu, pouze v jiném režimu.

Dle normy ČSN EN ISO 2062 (80 0700) je doba pro tahovou zkoušku 20 ± 2 sec [17]. Pro splnění této podmínky, vzhledem k rozdílným mechanickým vlastnostem jednotlivých multifilů, se musí měnit rychlost posuvu na *INSTORNU* 4411. Tato rychlost se mění i při změně zákrutu.

3.2 Postup výpočtu

Výpočet modelových hraničních tažností zakrouceného multifilového svazku vychází ze vzorce (14). Element zahrnující jednotlivé modelové hraniční tažnosti zakrouceného multifilového svazku je ve vztahu (14) *kontrakční faktor* C_y , který je definovaný zvláště pro : *modelové elastické deformace, modelové plastické deformace a migrace fibril*. Dosazením příslušného *kontrakčního faktoru, sklonu fibril těsně před přetrhem a tažnosti nezakrouceného svazku*, lze vypočítat jednu z hraničních modelových tažností zakrouceného multifilu pro daný stupeň zákrutu.

Ve vztahu (14) jsou konstanty pouze ϵ_b a *kontrakční faktor* pro *modelové plastické deformace*, kdy $C_y=1$. Všechny ostatní parametry jsou ve vztahu (14) závislé na hodnotě zákrutu. Při změně zákrutu se mění *sklon fibril bez napětí, sklon fibril těsně*

před přetrhem a kontrakční faktor. Pro porovnávání statistické významnosti intervalů spolehlivosti středních hodnot je určena hladina významnosti $\alpha=0,05$.

Do výsledných grafů popisujících tažnost v závislosti na vzrůstajícím zákrutovém koeficientu je zanesen i Gegauffův model tažnosti zakrouceného multifilu. V prvním případě se jedná o situaci za předpokladu: $\sigma_y=0$, vzorec (32). V druhém případě se jedná o situaci za předpokladu: $\sigma_y=0,5$, vzorec (33). Tyto modely slouží pro komparaci s naměřenou tažností zakrouceného multifilu. Pro výpočet tažností zakrouceného multifilu ze vztahů (32), (33) je nutná znalost tažnosti nezakrouceného svazku ε_b a sklonu fibril bez napětí α_c na daném stupni zákrutu.

3.3 Zákrut

Multifily se zakrucovaly pomocí laboratorního zákrutoměru. Dle normy ČSN EN ISO 2062 (80 0700) musí být zakrucovaný element pod napětím 0,5 cN/tex [18].

Na tomto typu zákrutoměru lze nastavit počet ovinů, upínací délka, směr zákrutu a rychlost zakrucování. Jedna otáčka čelistí zákrutoměru odpovídá jednomu ovinu.

Délka vložených multifilů do zákrutoměru se měřila před zakroucením a po zakroucení. V následujících grafech je zákrut vyjádřen pomocí Koechlinova zákrutového koeficientu.

3.4 Měření jemnosti

Jemnost jednotlivých multifilů se určila pomocí vijáku a laboratorních vah. Každý materiál byl proměřen pětkrát. Výsledky měření jednotlivých jemností jsou uvedeny v Tab. 1.

3.5 Jednoosé namáhání multifilu

Jednoosé tahové namáhání probíhalo v laboratořích TUL-FT-KTT na přístroji *INSTRON* 4411, Obr.16. Pro zjištění tažnosti zakroucených i nezakroucených multifilů je použito namáhání do poloviny cyklu. Pro zjištění deformačního charakteru jednotlivých materiálů je použito dvoucyklové namáhání viz kapitola 2.3.2 Tažnost. V obou případech namáhání je použita 100N zatěžovací článek.



Obr. 16 INSTRON 4411 [19].

3.6 Materiály pro experiment

Pro diplomovou práci byly zvoleny čtyři různé druhy hladkých multifilových svazků. Jedná se o dva polyestery (*PES 1*, *PES 2*), polyamid 6 (*PA 6*) a viskózu (*CV*), polyesterové materiály se družily v rámci materiálu (*PES 1 II*, *PES 2 II*). V následujících tabulkách (Tab. 2, 3, 4, 5, 6, 7) jsou uvedeny parametry měřených materiálů. Označení jednotlivých materiálů dle ČSN EN ISO 2076 (80 0010) [20].

Tab. 1 Měření jemnosti multifilů.

Materiál	Jemnost [tex]	Směrodatná odchylka[tex]	95 % IS [tex]
<i>PES 1</i>	112,30	0,14	<111,04; 113,56>
<i>PES 2</i>	109,10	0,12	<108,54; 109,66>
<i>PA 6</i>	190,00	0,52	<188,53; 191,47>
<i>CV</i>	13,30	0,3	<12,09; 14,51>
<i>PES 1 II</i>	224,60		
<i>PES 2 II</i>	218,20		

Tab. 2 Stupně zákrutu u PES 1.

PES 1		Jemnost: 112,3 tex	
Počet ovinů	Stupeň zákrutu [1/m]	Koechlinův zákrutový koeficient [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	
100 [ov/795mm]	125,71	41,71	
200 [ov/785mm]	254,78	84,54	
300 [ov/764mm]	392,87	130,3	
400 [ov/727mm]	550,06	182,43	

Tab. 3 Stupně zákrutu u PES 2.

PES 2		Jemnost: 109,1 tex	
Počet ovinů	Stupeň zákrutu [1/m]	Koechlinův zákrutový koeficient [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	
100 [ov/794mm]	125,9	41,76	
200[ov/780mm]	256,37	85,03	
300[ov/754mm]	397,79	131,93	
400[ov/722mm]	553,82	183,68	

Tab. 4 Stupně zákrutu u PA 6.

PA 6		Jemnost: 190 tex	
Počet ovinů	Stupeň zákrutu [1/m]	Koechlinův zákrutový koeficient [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	
75 [ov/794 mm]	94,5	41,19	
150 [ov/778mm]	192,77	84,03	
225 [ov/749 mm]	300,46	130,95	
275 [ov/723 mm]	380,36	165,78	

Tab. 5 Stupně zákrutu u CV.

CV		Jemnost: 13,3 tex	
Počet ovinů	Stupeň zákrutu [1/m]	Koechlinův zákrutový koeficient [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	
300 [ov/793mm]	378,31	43,63	
450 [ov/788mm]	570,78	65,82	
600 [ov/783mm]	766,23	88,37	
800 [ov/723mm]	1029,87	118,77	

Družené materiály

Tab. 6 Stupně zákrutu u druženého PES 2.

PES 2 II	Jemnost: 218,2 tex	
Počet ovinů	Stupeň zákrutu [1/m]	Koechlinův zákrutový koeficient [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]
65 [ov/794 mm]	81,82	38,38
130 [ov/781 mm]	166,35	78,02
195 [ov/756 mm]	258,02	121,02
260 [ov/724 mm]	360,19	168,94

Tab.7 Stupně zákrutu u druženého PES I.

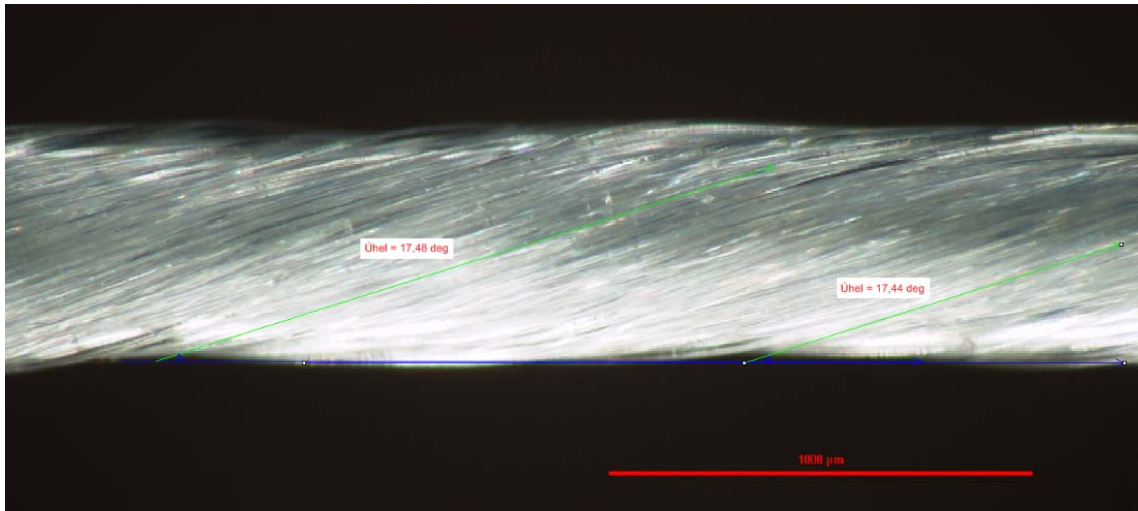
PES 1 II	Jemnost: 224,6 tex	
Počet ovinů	Stupeň zákrutu [1/m]	Koechlinův zákrutový koeficient [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]
70 [ov/795 mm]	81,82	41,31
140 [ov/783 mm]	166,35	83,85
210 [ov/755 mm]	258,02	130,39
280 [ov/727 mm]	360,19	180,71

3.7 Obrazová analýza

Obrazová analýza probíhala v laboratořích KTT-FT-TUL. Pro vyhodnocování sklonu fibril v zakrouceném multifilovém svazku je využit program *NIS-elements*.



Obr.17 Zařízení pro obrazovou analýzu v laboratořích KTT-FT-TUL [15]



Obr.18 Podklad pro obrazovou analýzu.

3.7.1 Sklony fibril

V rámci experimentu je úhel sklonu fibril měřený pomocí obrazové analýzy. Úhel sklonu fibril před přetrhem α_b lze také vypočítat dle vztahu (23), viz kapitola 2.5 Ideální šroubovicový model. V rámci experimentu je také zkoumáno, jak se od sebe statisticky významně liší *naměřený* a *vypočítaný* úhel sklonu vláken těsně před přetrhem α_b . V experimentální části jsou modelové hraniční stavy tažností zakroucených multifilů uváděny s *vypočítaným* sklonem fibril těsně před přetrhem, vztah (23). V příloze jsou modelové hraniční stavy tažností zakroucených multifilů uváděny s *naměřeným* sklonem fibril těsně před přetrhem.

Tab. 8 Sklon fibril α_b , α_c u PES I.

<i>PES I</i>	<i>Naměřené</i>				<i>Vypočítané</i>
	α_c [°]	α_c IS 95% [°]	α_b [°]	α_b IS 95% [°]	α_b [°]
41,71 [ktex ^{1/2} .m ⁻¹]	5,57	(5,34 ; 5,8)	7,75	(7,44 ; 8,05)	6,21
84,54	15,28	(14,74 ; 15,81)	14,8	(14,31 ; 15,29)	12,78
130,3	26,03	(25,25 ; 26,79)	22,54	(21,65 ; 23,44)	22,55
182,43	32,11	(31,45 ; 32,77)	29,25	(28,42 ; 30,08)	28,11

Tab. 9 Sklon fibril α_b , α_c u PES 2.

<i>PES 2</i>	<i>Naměřené</i>				<i>Vypočítané</i>
α [<i>ktex</i> ^{1/2} . <i>m</i> ⁻¹]	α_c [°]	α_c IS 95% [°]	α_b [°]	α_b IS 95% [°]	α_b [°]
41,76	7,69	(7,32 ; 8,06)	6,44	(6,27 ; 6,61)	6,22
85,03	14,94	(14,21 ; 15,64)	14,28	(13,82 ; 14,73)	12,79
131,93	22,17	(21,44 ; 22,89)	23,47	(22,23 ; 24,71)	22,55
183,68	26,24	(27,35 ; 29,44)	29,71	(28,89 ; 30,53)	28,11

Tab. 10 Sklon fibril α_b , α_c u VI.

<i>CV</i>	<i>Naměřené</i>				<i>Vypočítané</i>
α [<i>ktex</i> ^{1/2} . <i>m</i> ⁻¹]	α_c [°]	α_c IS 95% [°]	α_b [°]	α_b IS 95% [°]	α_b [°]
43,63	10,06	(9,27 ; 10,85)	6,55	(6,31 ; 6,79)	8,35
65,82	13,98	(13,42 ; 14,53)	12,58	(11,31 ; 13,84)	11,69
88,37	19,03	(18,14 ; 19,92)	15,57	(15,06 ; 16,07)	16,55
118,77	24,34	(23,65 ; 25,03)	19,84	(19,19 ; 20,48)	21,06

Tab. 11 Sklon fibril α_b , α_c u PA 6.

<i>PA 6</i>	<i>Naměřené</i>				<i>Vypočítané</i>
α [<i>ktex</i> ^{1/2} . <i>m</i> ⁻¹]	α_c [°]	α_c IS 95% [°]	α_b [°]	α_b IS 95% [°]	α_b [°]
41,19	7,69	(7,32 ; 8,06)	6,44	(6,27 ; 6,61)	6,54
84,03	14,94	(14,24 ; 15,64)	14,28	(13,82 ; 14,73)	12,73
130,95	22,17	(21,44 ; 22,89)	22,56	(21,64 ; 23,47)	18,79
165,78	28,4	(27,35 ; 29,44)	29,63	(28,86 ; 30,4)	24,31

Tab. 12 Sklon fibril α_b , α_c u druženého PL I II.

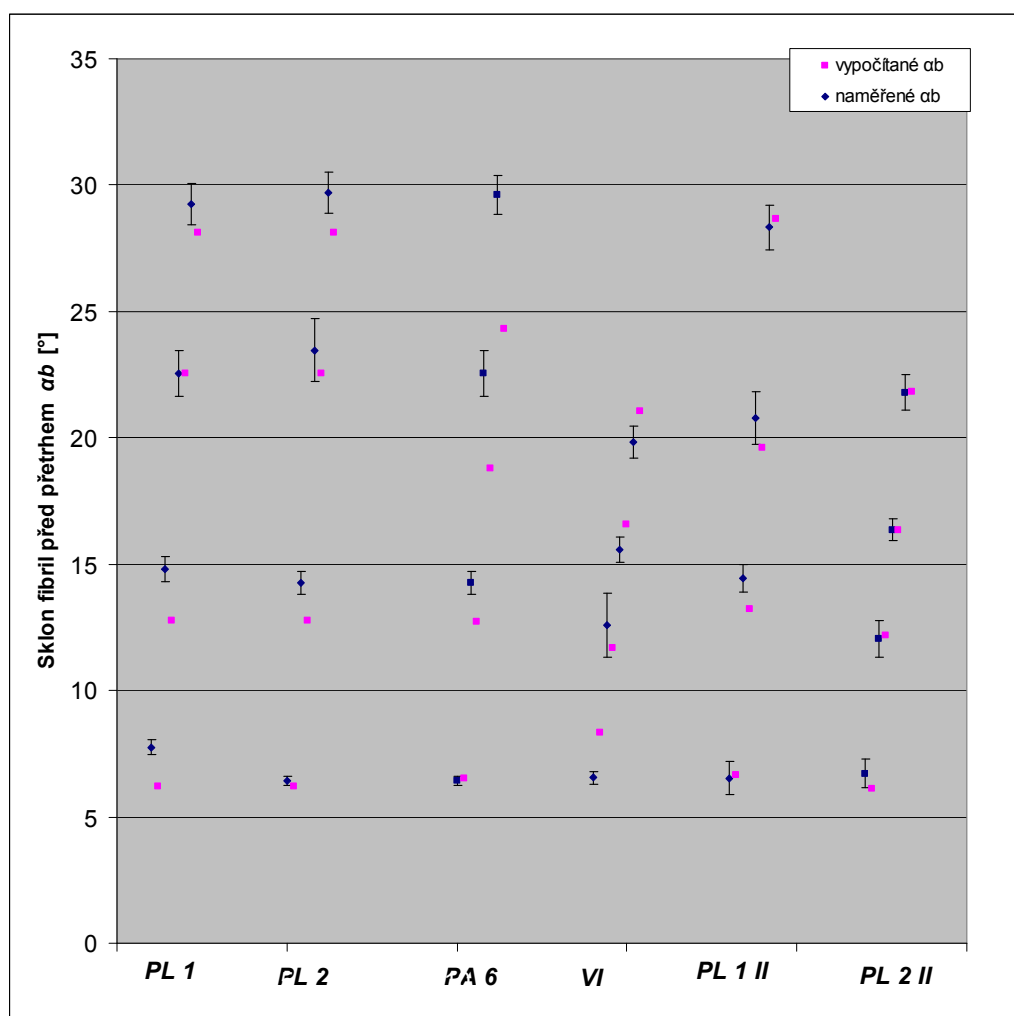
<i>PES I II</i>	<i>Naměřené</i>				<i>Vypočítané</i>
α [<i>ktex</i> ^{1/2} . <i>m</i> ⁻¹]	α_c [°]	α_c IS 95% [°]	α_b [°]	α_b IS 95% [°]	α_b [°]
41,31	7,73	(6,94 ; 8,52)	6,54	(5,89 ; 7,18)	6,64
83,85	15,55	(15,15 ;)	14,43	(13,89 ; 14,97)	13,21
130,39	23	(22,55 ; 23,45)	20,77	(19,71 ; 21,82)	19,61
180,71	33,1	(32,54 ; 33,66)	28,33	(27,46 ; 29,21)	28,68

Tab. 13 Sklon fibril α_b , α_c u druženého PL 2 II.

<i>PES 2 II</i>	<i>Naměřené</i>				<i>Vypočítané</i>
α [$ktex^{1/2} \cdot m^{-1}$]	α_c [°]	α_c IS 95% [°]	α_b [°]	α_b IS 95% [°]	α_b [°]
41,71	6,89	(6,18 ; 7,59)	6,71	(6,15 ; 7,27)	6,1
84,54	13,84	(13 ; 14,66)	12,06	(11,33 ; 12,78)	12,19
130,3	18,64	(17,96 ; 19,31)	16,36	(15,94 ; 16,78)	16,36
182,43	24,97	(24,26 ; 25,86)	21,79	(21,08; 22,5)	21,84

Sklon fibril těsně před přetrhem

Na grafu č.1 jsou zobrazeny sklony fibril před přetrhem multifilu. Tento úhel byl vypočítán dle vztahu (23) a naměřen pomocí obrazové analýzy. Pro každý multifilový materiál byly voleny čtyři stupně zákrutu. Hodnoty pro Obr. 19 vycházejí z Tab. 8, 9, 10, 11, 12, 13.



Obr. 19 Vypočítaný a naměřený úhel sklonu fibril před přetrhem α_b .

Pes 1

Interval spolehlivosti střední hodnoty sklonu *naměřených* fibril před přetrhem se překrýval se střední hodnotou sklonu *vypočítaných* fibril před přetrhem na hodnotě Koechlinova zákrutového koeficientu $130,3 \text{ ktex}^{1/2} \cdot \text{m}^{-1}$. Rozdíl mezi střední hodnotou *vypočítaného* sklonu fibril před přetrhem a intervalem spolehlivosti střední hodnoty *naměřeného* sklonu fibril před přetrhem je na této hodnotě Koechlinova zákrutového koeficientu statisticky nevýznamný.

Pes 2

Interval spolehlivosti střední hodnoty sklonu *naměřených* fibril před přetrhem se překrýval se střední hodnotou sklonu *vypočítaných* fibril před přetrhem na hodnotě Koechlinova zákrutového koeficientu $131,93 \text{ ktex}^{1/2} \cdot \text{m}^{-1}$. Rozdíl mezi střední hodnotou *vypočítaného* sklonu fibril před přetrhem a intervalem spolehlivosti střední hodnoty *naměřeného* sklonu fibril před přetrhem je na této hodnotě Koechlinova zákrutového koeficientu statisticky nevýznamný.

Pad 6

Interval spolehlivosti střední hodnoty sklonu *naměřených* fibril před přetrhem se překrýval se střední hodnotou sklonu *vypočítaných* fibril před přetrhem na hodnotě Koechlinova zákrutového koeficientu $41,19 \text{ ktex}^{1/2} \cdot \text{m}^{-1}$. Rozdíl mezi střední hodnotou *vypočítaného* sklonu fibril před přetrhem a intervalem spolehlivosti střední hodnoty *naměřeného* sklonu fibril před přetrhem je na této hodnotě Koechlinova zákrutového koeficientu statisticky nevýznamný.

Vs

Interval spolehlivosti střední hodnoty sklonu *naměřených* fibril před přetrhem se překrýval se střední hodnotou sklonu *vypočítaných* fibril před přetrhem na hodnotě Koechlinova zákrutového koeficientu $65,82 \text{ ktex}^{1/2} \cdot \text{m}^{-1}$. Rozdíl mezi střední hodnotou *vypočítaného* sklonu fibril před přetrhem a intervalem spolehlivosti střední hodnoty *naměřeného* sklonu fibril před přetrhem je na této hodnotě Koechlinova zákrutového koeficientu statisticky nevýznamný.

Pes 1 II

Intervaly spolehlivosti střední hodnoty sklonu *naměřených* fibril před přetrhem se překrývaly se středními hodnotami sklonu *vypočítaných* fibril před přetrhem na hodnotách 41,31 a 180,71 $ktex^{1/2}.m^{-1}$. Rozdíly mezi středními hodnotami *vypočítaného* sklonu fibril před přetrhem a intervaly spolehlivosti střední hodnoty *naměřeného* sklonu fibril před přetrhem jsou na těchto hodnotách Koechlinova zákrutového koeficientu statisticky nevýznamné.

Pes 2 II

Intervaly spolehlivosti střední hodnoty sklonu *naměřených* fibril před přetrhem se překrývaly se středními hodnotami sklonu *vypočítaných* fibril před přetrhem na hodnotách 84,54 , 130,3 a 182,43 $ktex^{1/2}.m^{-1}$. Rozdíly mezi středními hodnotami *vypočítaného* sklonu fibril před přetrhem a intervalem spolehlivosti střední hodnoty *naměřeného* sklonu fibril před přetrhem jsou na této hodnotě Koechlinova zákrutového koeficientu statisticky nevýznamné.

Zhodnocení

Ve většině případů se interval spolehlivosti střední hodnoty *naměřeného* sklonu fibril před přetrhem a střední hodnotou *vypočítaného* sklonu fibril před přetrhem nepřekrýval. Rozdíly mezi naměřenými a vypočítanými sklony fibril před přetrhem jsou statisticky významné. Metodika zakrucování, přenášení zakrouceného svazku a obrazová analýza mohla způsobit rozdílné hodnoty sklonu *naměřených* a *vypočítaných* fibril před přetrhem.

3.8 Měření tažnosti

Tažnost multifilu byla měřena na přístroji *INSTRON* 4411 viz kapitola . V tabulce č. 14, 15 je zaznamenána tažnost nezakrouceného multifilu a tažnost multifilu s daným zákrutem. Ostatní parametry naměřené při tahové zkoušce do poloviny cyklu jsou uvedeny v příloze na CD-ROM.

Tab. 14 Výsledky měření tažnosti materiálů.

PES 1		PES 2		PA 6		CV	
α [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]	α [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]	α [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]	α [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]
0	10,04	0	8,20	0	11,12	0	13,81
41,71	7,68	41,76	6,69	41,19	11,18	43,63	12,91
84,54	7,37	85,03	6,73	84,03	11,39	65,82	12,78
130,3	7,32	131,93	6,97	130,95	12,36	88,37	11,01
182,43	6,94	183,68	7,99	165,78	13,62	118,77	11,08

Tab. 15 Výsledky měření tažnosti druzených materiálů.

PES 1 II		PES 2 II	
α [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]	Tažnost [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]
0	10,57	0	9,37
38,38	10,45	41,76	8,21
78,02	11,18	85,03	8,92
121,02	11,96	131,93	9,45
168,94	11,96	183,68	10,1

3.9 Lineární závislost mezi naměřenou tažností a modelovými hraničními tažnostmi zakrouceného multifilu

Naměřené tažnosti zakroucených multifilů, sklony fibril α_b , α_c byly nejprve testovány na normalitu a homogenitu. Ve všech případech byla normalita a homogenita přijata. V rámci jednoho materiálu byla sledována míra lineárních závislostí mezi *naměřenou tažností* multifilu a jednotlivými modelovými hraničními tažnostmi, viz kapitola 2.5.2 Modelové tažnosti zakroucených multifilových svazků. Byla sledována také míra lineárních závislostí mezi naměřenou tažností multifilu a Gegauffovými modely, viz kapitola 2.6 Gegauffův model.

Tímto postupem lze zjistit, jaký trend vývoje má tažnost multifilového svazku v závislosti na vzrůstajícím zákrutovém koeficientu. Byla stanovena statistická významnost korelačních koeficientů pomocí programu QCexpert. Statisticky významné korelační koeficienty jsou vyznačeny barevně. Hodnoty jednotlivých korelačních koeficientů jsou uvedeny v příslušných tabulkách (Tab. 17, 19, 21, 23, 25, 27).

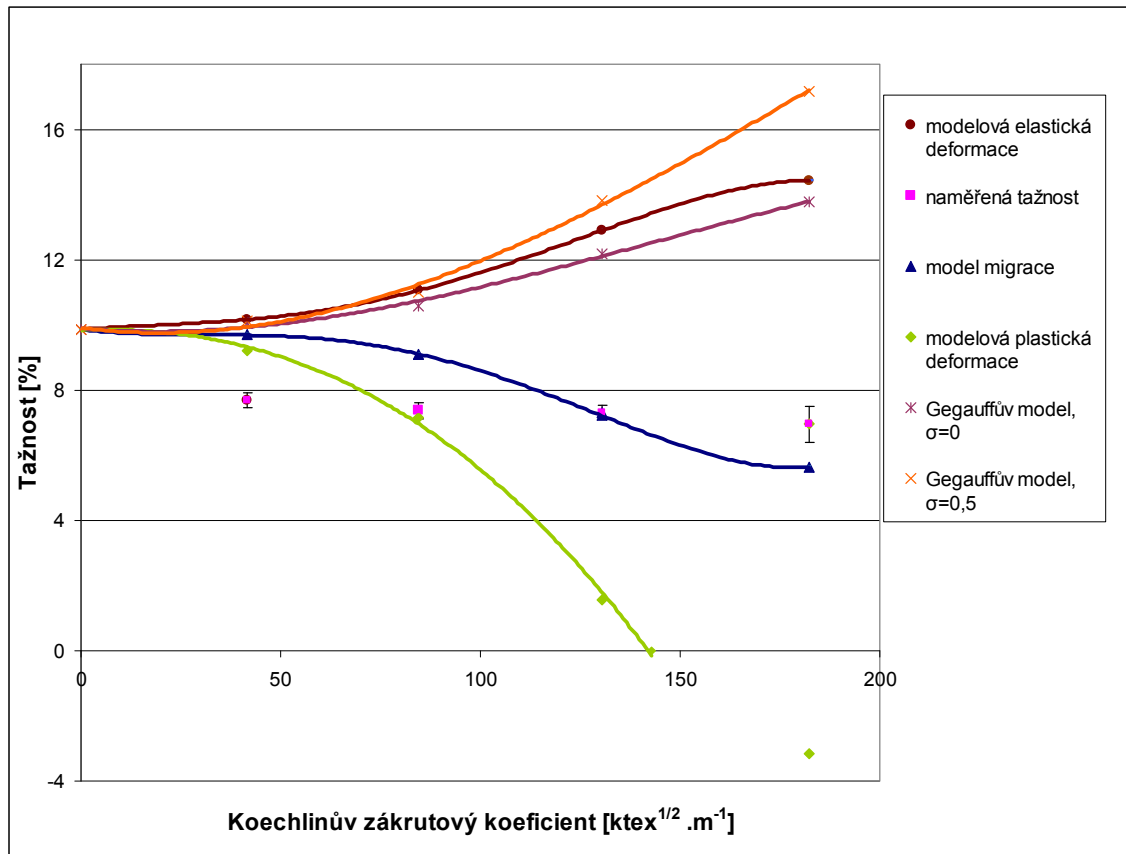
3.10 Párový T-test

V rámci jednoho multifilového materiálu byly sledovány rozdíly mezi naměřenými tažnostmi zakrouceného multifilu a hraničními modelovými tažnostmi. Významnost rozdílů byla stanovena pomocí programu QCexpert.

4. Mezní modelové tažnosti u Polyesteru 1

Tab. 16 Výsledky měření tažnosti materiálu PES I.

Typ měření	α [$ktex^{1/2} \cdot m^{-1}$]	Tažnost [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [%]	95 % IS [%]
Naměřená tažnost	41,71	7,68	0,60	3,72	<7,44; 7,91>
	84,53	7,37	0,65	1,64	<7,11; 7,62>
	130,30	7,32	0,48	5,94	<7,13; 7,51>
	182,43	6,94	1,39	10,13	<6,39; 7,50>
Modelová elastická deformace	41,71	10,16			
	84,53	11,06			
	130,30	12,89			
	182,43	14,43			
Model migrace	41,71	9,69			
	84,53	9,1			
	130,30	7,22			
	182,43	5,63			
Modelová plastická deformace	41,71	9,21			
	84,53	7,15			
	130,30	1,54			
	182,43	-0,03			
Gegauffův model $\sigma_y=0$	41,71	10,03			
	84,53	10,59			
	130,30	12,19			
	182,43	13,78			
Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	41,71	10,12			
	84,53	10,99			
	130,30	13,82			
	182,43	17,18			



Obr. 20 Závislost tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, *PES 1*.

Zhodnocení výsledků PES 1

U materiálu *polyester 1* se interval spolehlivosti střední hodnoty naměřené tažnosti překrýval se střední hodnotou tažnosti *modelové plastické deformace* na hodnotě 84,53 $ktex^{1/2}.m^{-1}$. Dále se interval spolehlivosti střední hodnoty naměřené tažnosti překrýval se střední hodnotou tažnosti *modelu migrace* na hodnotě 130,3 $ktex^{1/2}.m^{-1}$. Mezi těmito body a intervalem spolehlivosti střední hodnoty tažnosti multifilu není statisticky významný rozdíl.

Lineární závislost mezi naměřenou tažností a modelovými hraničními tažnostmi

Tab. 17 Výpočet korelačních koeficientů u PES 1.

Testované soubory	R
<i>naměřená tažnost - elastické deformace</i>	-0,69
<i>naměřená tažnost - model migrace</i>	0,67
<i>naměřená tažnost - plastické deformace</i>	0,69
<i>naměřená tažnost - Gegauffův model $\sigma_y=0$</i>	-0,61
<i>naměřená tažnost - Gegauffův model $\sigma_y=0,5$</i>	-0,6

Dle vypočítaných hodnot korelačních koeficientů R nelze jednoznačně určit trend vývoje naměřené tažnosti zakrouceného multifilu v závislosti na modelové hraniční tažnosti.

Párový T-test

Rozdíly středních hodnot mezi *naměřenou tažností- modelem migrace*, *naměřenou tažností- modelovou plastickou deformací* jsou statisticky nevýznamné na hladině $\alpha=0,05$.

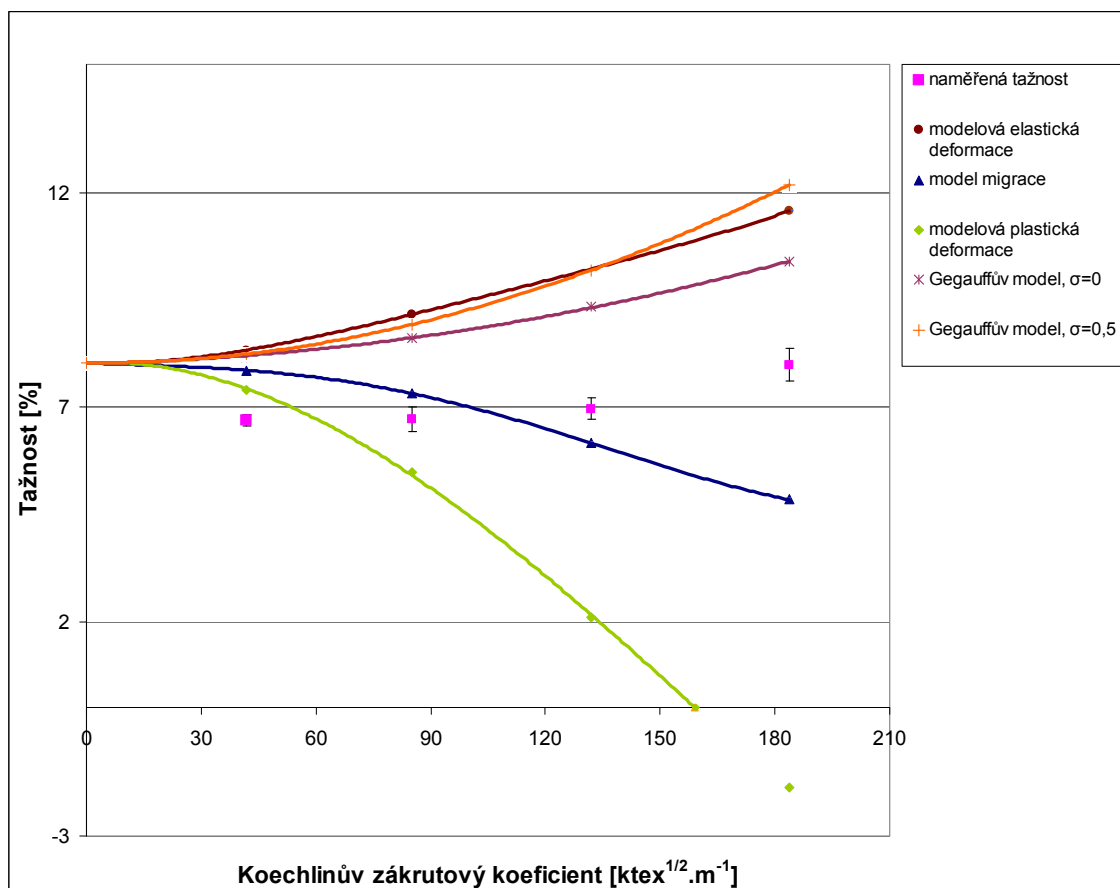
Závěr

Zakroucený multifil *polyester 1*, má na hodnotě Koechlinova zákrutu $84,53 \text{ ktex}^{1/2} \cdot \text{m}^{-1}$ maximální plastické deformace, se vzrůstajícím zákrutovým koeficientem má zakroucený svazek tendenci migrovat s elastickými deformacemi. Gegauffovy teorie o rostoucí tažnosti zakrouceného multifilu zde nebyly potvrzeny.

4.1 Mezní modelové tažnosti Polyesteru 2

Tab. 18 Výsledky měření tažnosti materiálu PES 2 .

Typ měření	α [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [%]	95 % IS [%]
Naměřená tažnost	41,76	6,69	3,39	0,23	<6,57; 6,82>
	85,03	6,73	5,82	0,4	<6,44; 7,02>
	131,93	6,97	6,47	0,45	<6,72; 7,21>
	183,68	7,99	6,95	0,6	<7,63; 8,37>
Modelová elastická deformace	41,76	8,34			
	85,03	9,17			
	131,93	10,23			
	183,68	11,58			
Model migrace	41,76	7,86			
	85,03	7,32			
	131,93	6,17			
	183,68	4,85			
Modelová plastická deformace	41,76	7,39			
	85,03	5,48			
	131,93	2,11			
	183,68	-1,87			
Gegauffův model $\sigma_y=0$	41,76	8,18			
	85,03	8,61			
	131,93	9,37			
	183,68	10,39			
Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	41,76	8,25			
	85,03	8,93			
	131,93	10,2			
	183,68	12,18			



Obr. 21 Závislost tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, PES 2.

Zhodnocení výsledků PES 2

U materiálu *polyester 2* se interval spolehlivosti střední hodnoty naměřené tažnosti nepřekrýval s žádnou tažností modelových hraničních stavů. Mezi vypočtenými modelovými hraničními stavy a naměřenou tažností multifilu je statisticky významný rozdíl.

Lineární závislost mezi naměřenou tažností a hraničními modelovými tažnostmi

Tab.19 Výpočet korelačních koeficientů u PES 2.

Testované soubory	R
<i>naměřená tažnost - elastické deformace</i>	0,22
<i>naměřená tažnost - model migrace</i>	-0,21
<i>naměřená tažnost - plastické deformace</i>	-0,21
<i>naměřená tažnost - Gegauff. model $\sigma_y=0$</i>	0,31
<i>naměřená tažnost - Gegauff. model $\sigma_y=0,5$</i>	0,32

Dle vypočítaných hodnot korelačních koeficientů nelze jednoznačně určit trend vývoje naměřené tažnosti zakrouceného multifilu v závislosti na modelové hraniční tažnosti.

Párový T-test

Rozdíly mezi naměřenými tažnostmi zakrouceného multifilu a vypočtenými mezními modelovými hodnotami tažností multifilů jsou na základě párového t-testu statisticky významné na hladině $\alpha=0,05$.

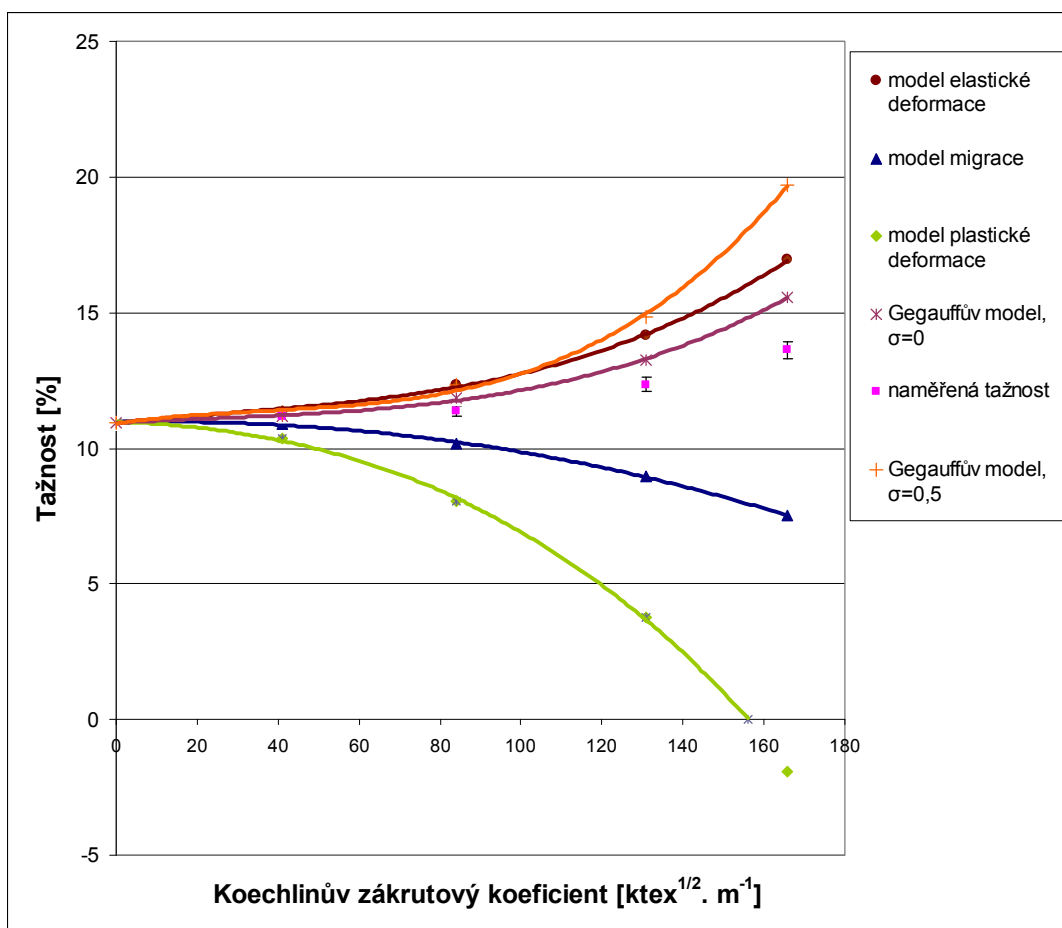
Závěr

Zakroucený multifil *polyester 2*, má s nízkým zákrutovým koeficientem *plastické deformace*. Se vzrůstajícím zákrutovým koeficientem má multifilový svazek tendenci migrovat s elastickými deformacemi. Předpoklad o rostoucí tažnosti z Gegauffova modelu je zde potvrzen.

4.2 Mezní modelové tažnosti u Polyamidu 6

Tab. 20 Výsledky měření tažnosti materiálu PA 6.

Typ měření	α [$ktex^{1/2} \cdot m^{-1}$]	Tažnost [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [1]	95 % IS [%]
Naměřená tažnost	41,19	11,18	3,42	0,39	<10,98; 11,37>
	84,03	11,39	3,36	0,38	<11,2; 11,58>
	130,94	12,36	4,42	0,56	<12,69; 12,63>
	165,78	13,62	3,58	0,50	<13,3; 10,98>
Modelová elastická deformace	41,19	11,42			
	84,03	12,32			
	130,94	14,17			
	165,78	16,94			
Model migrace	41,19	10,88			
	84,03	10,18			
	130,94	8,96			
	165,78	7,5			
Modelová plastická deformace	41,19	10,34			
	84,03	8,05			
	130,94	3,75			
	165,78	1,93			
Gegauffův model $\sigma_y=0$	41,19	11,17			
	84,03	11,83			
	130,94	13,26			
	165,78	15,57			
Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	41,19	11,27			
	84,03	12,33			
	130,94	14,83			
	165,78	19,72			



Obr. 22 Závislost tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, PA 6.

Zhodnocení výsledků PA 6

U materiálu *polyamid 6* se interval spolehlivosti střední hodnoty naměřené tažnosti nepřekrýval s žádnou tažností modelových hraničních stavů. Mezi vypočtenými modelovými hraničními stavy a naměřenou tažností zakrouceného multifilu je statisticky významný rozdíl.

Lineární závislost mezi naměřenou tažností a hraničními modelovými tažnostmi

Tab. 21 Výpočet korelačních koeficientů u PA 6.

Testované soubory	R
<i>naměřená tažnost- elastické deformace</i>	0,99
<i>naměřená tažnost - model migrace</i>	-0,98
<i>naměřená tažnost - plastické deformace</i>	-0,94
<i>naměřená tažnost - Gegauffův model $\sigma_y=0$</i>	0,99
<i>naměřená tažnost - Gegauffův model $\sigma_y=0,5$</i>	0,97

Mezi naměřenou tažností a mezními modelovými hraničními stavy je silná lineární závislost. Kladná hodnota korelačního koeficientu je mezi *naměřenou tažností- modelem elastické deformace, naměřenou tažností- Gegauffovými modely*.

Párový T-test

Rozdíly mezi naměřenými tažnostmi zakrouceného multifilu a vypočtenými mezními modelovými hodnotami tažností multifilů jsou na základě párového t-testu statisticky nevýznamné na hladině $\alpha=0,05$.

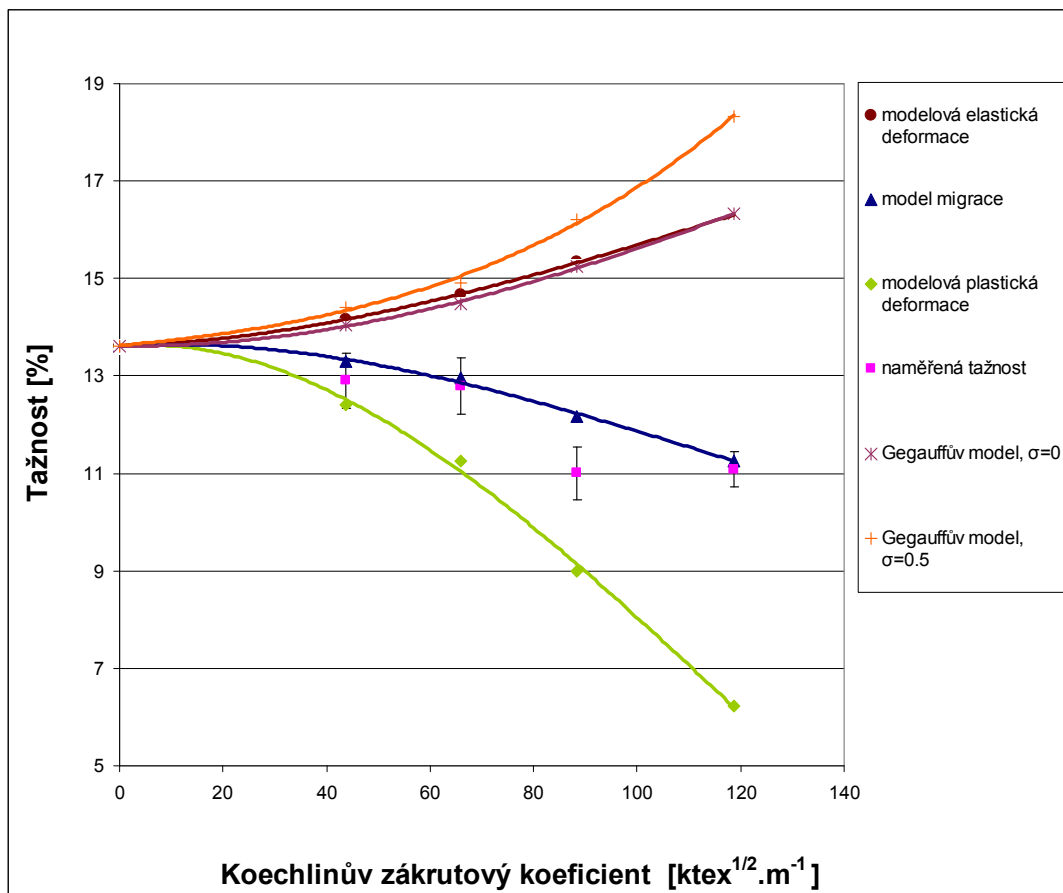
Závěr

Tažnost *Polyamidu 6* leží mezi modelovými hraničními stavy *elastických deformací a modelem migrace*. S rostoucím stupněm zákrutového koeficientu se tažnost zakrouceného multifilu přibližuje modelovému hraničnímu stavu: *elastické deformace*. Gegauffova teorie o rostoucí tažnosti zakrouceného multifilu zde je potvrzena.

4.3 Mezní modelové tažnosti u Viskózy

Tab. 22 Výsledky měření tažnosti materiálu CV.

Typ měření	α [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [%]	95 % IS [%]
Naměřená tažnost	43,63	12,91	8,21	1,06	<12,34; 13,47>
	65,82	12,78	6,77	0,86	<12,20; 13,40>
	88,37	11,01	5,57	0,62	<10,47; 11,55>
	118,769	11,08	4,76	0,53	<10,72; 11,45>
Modelová elastická deformace	43,63	14,17			
	65,82	14,66			
	88,37	15,34			
	118,769	16,31			
Model migrace	43,63	13,29			
	65,82	12,96			
	88,37	12,17			
	118,769	11,26			
Modelová plastická deformace	43,63	12,41			
	65,82	11,26			
	88,37	9,75			
	118,769	6,22			
Gegauffův model $\sigma_y=0$	43,63	14,05			
	65,82	14,47			
	88,37	15,25			
	118,769	16,33			
Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	43,63	14,41			
	65,82	14,92			
	88,37	16,22			
	118,769	18,33			



Obr. 23 Závislost tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, *CV*.

Zhodnocení výsledků *CV*

U materiálu *CV* se interval spolehlivosti střední hodnoty naměřené tažnosti překrýval se střední hodnotou tažnosti *modelu migrace* na hodnotách Koechlinova zákrutového koeficientu 43,63 , 65,82 a 118,769 $ktex^{1/2}.m^{-1}$. Dále se interval spolehlivosti střední hodnoty naměřené tažnosti překrýval se střední hodnotou *modelových plastických deformací* na hodnotě Koechlinova zákrutového koeficientu 43,63 $ktex^{1/2}.m^{-1}$. Mezi těmito body a intervalem spolehlivosti střední hodnoty tažnosti multifilu není statisticky významný rozdíl.

Lineární závislost mezi naměřenou tažností a hraničními modelovými tažnostmi

Tab. 23 Výpočet korelačních koeficientů u CV

Testované soubory	R
<i>naměřená tažnost - elastické deformace</i>	-0,91
<i>naměřená tažnost - migrace fibril</i>	0,93
<i>naměřená tažnost - plastické deformace</i>	0,88
<i>naměřená tažnost - Gegauffův model $\sigma_y=0$</i>	-0,91
<i>naměřená tažnost - Gegauffův model $\sigma_y=0,5$</i>	-0,89

Mezi naměřenou tažností a mezními modelovými hraničními stavy je silná lineární závislost. Kladná hodnota korelačního koeficientu je mezi *naměřenou tažností- modelem migrace,*, *naměřenou tažností- modelové plastické deformace.*

Párový T-test

Rozdíly mezi naměřenými tažnostmi zakrouceného multifilu a vypočtenými mezními modelovými hodnotami tažností multifilů jsou na základě párového t-testu statisticky nevýznamné na hladině $\alpha=0,05$.

Závěr

U materiálu *Viskóza* dochází k *migraci fibril*, se vzrůstajícím zákrutovým koeficientem má multifil tendenci *migrovat s plastickými deformacemi*. Gegauffova teorie o rostoucí tažnosti zakrouceného multifilu zde není potvrzena.

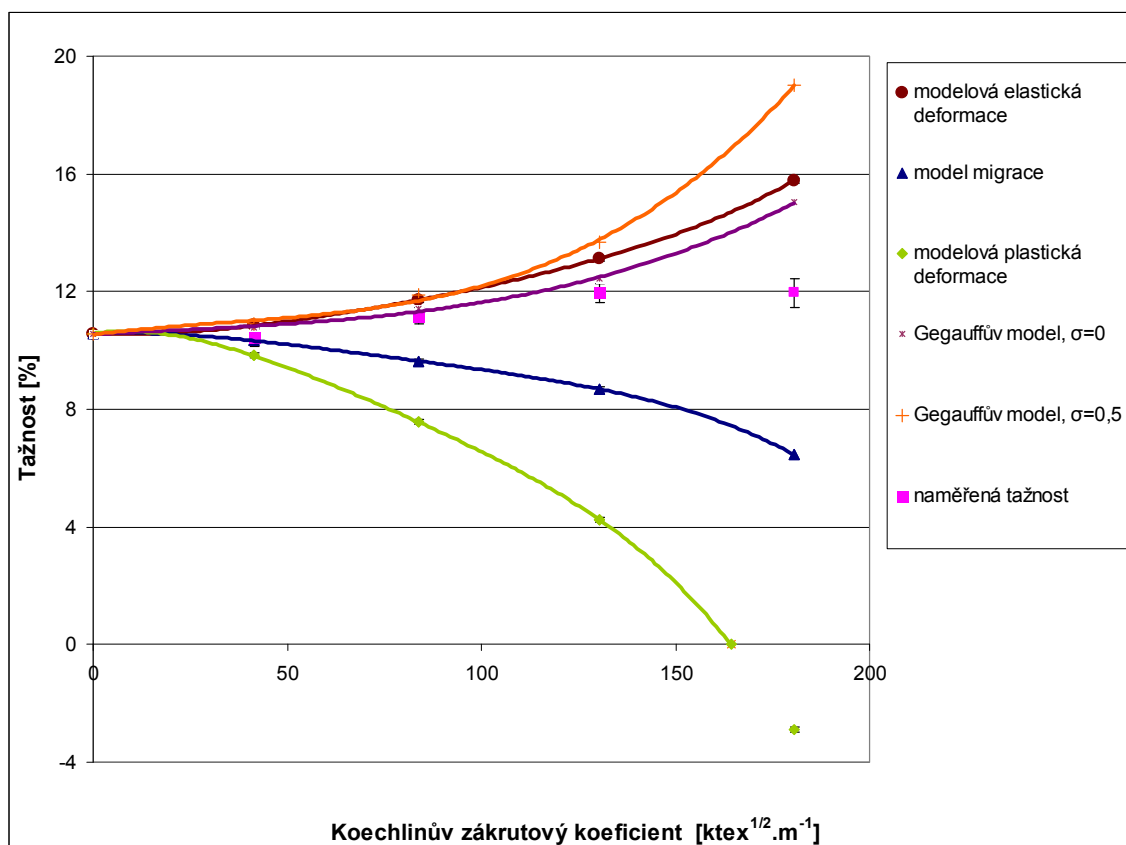
4.4 Družení multifilových materiálů

V rámci experimentu byly materiály druženy v rámci jednoho materiálu.

4.4.1 Mezní modelové tažnosti u Polyesteru 1 II

Tab. 24 Výsledky měření tažnosti druženého materiálu *PES I II*.

Typ měření	α [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [%]	95 % IS [%]
Naměřená tažnost	41,31	10,45	3,84	0,40	<10,15; 10,75>
	83,85	11,18	3,12	0,34	<10,92; 11,44>
	130,39	11,96	3,89	0,47	<11,63; 12,28>
	180,79	11,96	5,08	0,61	<11,48; 12,45>
Modelová elastická deformace	41,31	10,84			
	83,85	11,72			
	130,39	13,12			
	180,79	15,78			
Model migrace	41,31	10,33			
	83,85	9,64			
	130,39	8,69			
	180,79	6,45			
Modelová plastická deformace	41,31	9,82			
	83,85	7,56			
	130,39	4,25			
	180,79	-2,88			
Gegauffův model $\sigma_y=0$	41,31	10,77			
	83,85	11,40			
	130,39	12,45			
	180,79	15,03			
Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	41,31	10,89			
	83,85	11,87			
	130,39	13,66			
	180,79	19,04			



Obr. 24 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, PES 1 II.

Zhodnocení výsledků PES 1 II

U materiálu PES 1 II se interval spolehlivosti střední hodnoty naměřené tažnosti překrýval se střední hodnotou modelu migrace na hodnotě Koechlinova zákrutového koeficientu 83,85 $ktex^{1/2}.m^{-1}$. Mezi těmito bodem a intervalem spolehlivosti střední hodnoty tažnosti multifilu není statisticky významný rozdíl.

Lineární závislost mezi naměřenou tažností a hraničními modelovými tažnostmi

Tab. 25 Výpočet korelačních koeficientů u PES 1 II.

Testované soubory	R
naměřená tažnost - elastické deformace	0,89
naměřená tažnost - migrace fibril	-0,61
naměřená tažnost - plastické deformace	-0,87
naměřená tažnost - Gegauffův model $\sigma_y=0$	0,84
naměřená tažnost - Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	0,81

Mezi *naměřenou tažností* a *modelovými hraničními stavy* je silná lineární závislost. Kladná hodnota korelačního koeficientu je mezi *naměřenou tažností* - *modelem elastické deformace*, *naměřenou tažností* - *Gegauffovými modely*.

Párový T-test

Rozdíly mezi naměřenými tažnostmi zakrouceného multifilu a vypočtenými mezními modelovými hodnotami tažností multifilů jsou na základě párového t-testu statisticky nevýznamné na hladině $\alpha=0,05$.

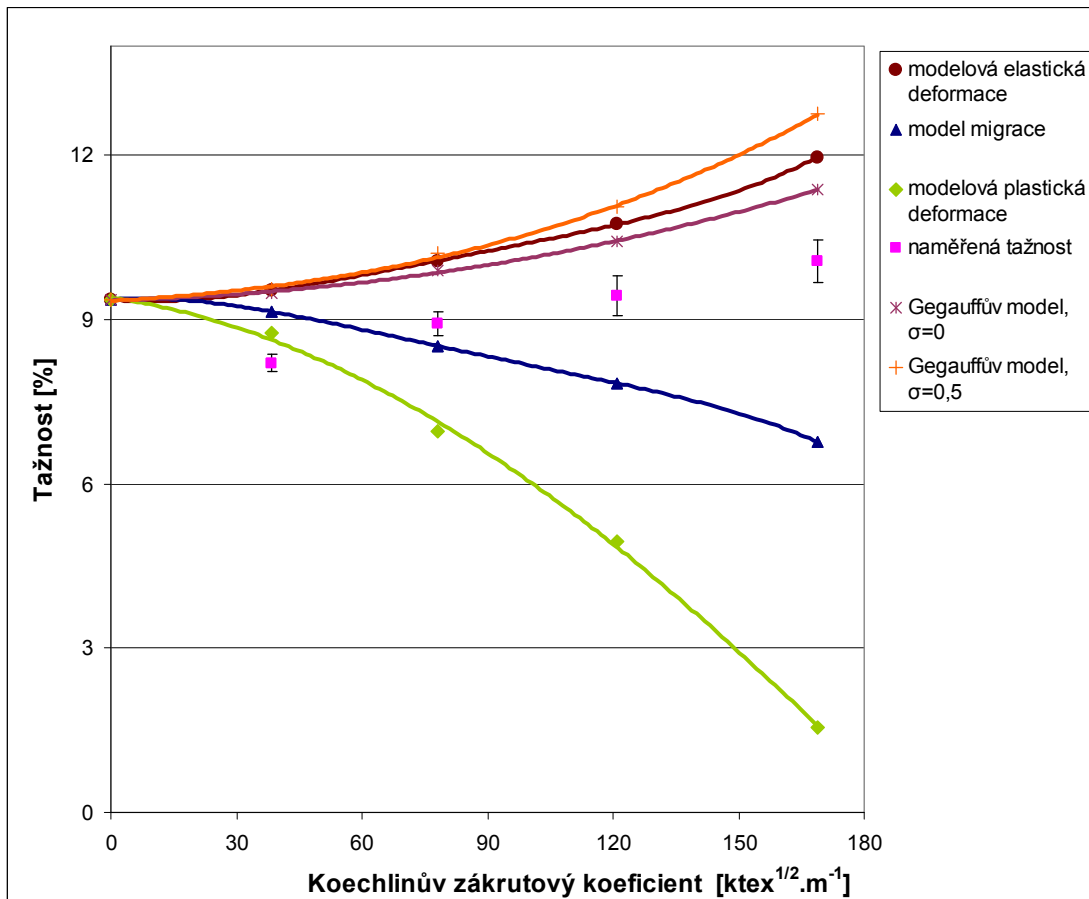
Závěr

Zakroucený multifilový svazek *PES I II* má s nízkým stupněm zákrutu tendenci migrovat. Se vzrůstajícím zákrutovým koeficientem vznikají u multifilového svazku *PES I II* elastické deformace v kombinaci s migrací.

4.4.2 Mezní modelové tažnosti u Polyesteru 2 II

Tab. 26 Výsledky měření tažnosti druzeného materiálu *PES 2 II*.

Typ měření	α [$ktex^{1/2} \cdot m^{-1}$]	Tažnost [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [%]	95 % IS [%]
Naměřená tažnost	38,38	8,21	3,20	0,31	<8,06; 8,37>
	78,02	8,92	3,69	0,40	<8,70; 9,15>
	121,02	9,45	5,95	0,36	<9,09; 9,81>
	168,94	10,1	6,59	0,50	<9,69; 10,46>
Modelová elastická deformace	38,38	11,45			
	78,02	10,08			
	121,02	10,74			
	168,94	11,97			
Model migrace	38,38	9,15			
	78,02	8,52			
	121,02	7,84			
	168,94	6,76			
Modelová plastická deformace	38,38	8,76			
	78,02	6,97			
	121,02	4,94			
	168,94	1,56			
Gegauffův model $\sigma_y=0$	38,38	9,49			
	78,02	9,89			
	121,02	10,42			
	168,94	11,38			
Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	38,38	9,56			
	78,02	10,21			
	121,02	11,05			
	168,94	12,76			



Obr. 25 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, PES 2 II.

Zhodnocení výsledků PES 2 II

U materiálu PES 2 II se interval spolehlivosti střední hodnoty naměřené tažnosti nepřekrýval s žádnou tažností modelových hraničních stavů. Mezi vypočtenými modelovými hraničními stavy a naměřenou tažností zakrouceného multifilu je statisticky významný rozdíl.

Lineární závislost mezi naměřenou tažností a hraničními modelovými tažnostmi

Tab. 27 Výpočet korelačních koeficientů u PES 2 II.

Testované soubory	R
<i>naměřená tažnost - elastické deformace</i>	0,89
<i>naměřená tažnost - migrace fibril</i>	-0,61
<i>naměřená tažnost - plastické deformace</i>	-0,76
<i>naměřená tažnost - Gegauffův model $\sigma_y=0$</i>	0,88
<i>naměřená tažnost - Gegauffův model $\sigma_y=0,5$</i>	0,81

Mezi *naměřenou tažností* a *modelovou elastickou deformací* je silná lineární závislost.

Párový T-test

Rozdíly středních hodnot mezi *naměřenou tažností- modelem migrace*, *naměřenou tažností- modelovou plastickou deformací* jsou statisticky významné na hladině $\alpha=0,05$.

Závěr

Zakroucený multifil *polyester 2 II*, má s nízkým zákrutovým koeficientem *plastické deformace*. Se vzrůstajícím zákrutovým koeficientem má multifilový svazek tendenci migrovat s elastickými deformacemi. Předpoklad o rostoucí tažnosti z Gegauffova modelu je zde potvrzen.

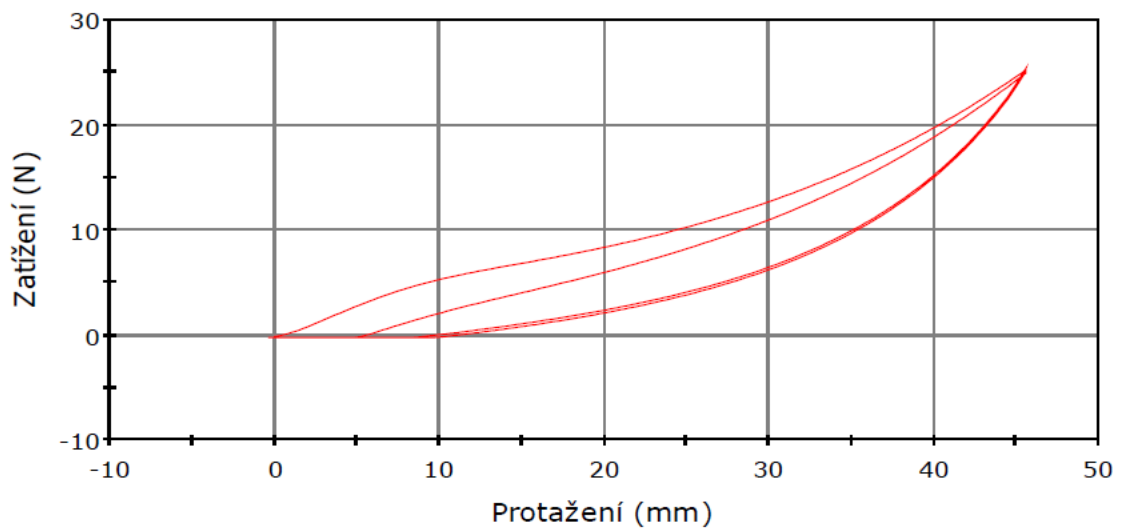
4.5 Deformační charakter vláken

Měření cyklického namáhání probíhalo na přístroji *INSTRON 4411*. Cyklickým namáháním lze zjistit deformační charakter vláken jednotlivých multifilových materiálů. Při cyklickém namáhání se nejedná o destruktivní metodu, je nutné zvolit hodnotu prodloužení, do které bude hladký multifil dvou-cyklicky namáhán. Hodnoty prodloužení, do kterých je materiál cyklicky namáhán jsou zvoleny na 50% a 90% z maximální tažnosti nezakrouceného multifilového svazku. Měření označené číslem **1** je 90% hodnota z maximální tažnosti nezakrouceného multifilu, měření označené číslem **2** je 50% hodnota z maximální tažnosti nezakrouceného multifilu. Hodnoty pro výpočet příslušných tažností jsou z Tab. 14 str. 49. Z každého měření je vyhodnocen graf, z kterého lze určit *elastické deformace*, *plastické deformace* a *viskoelastické deformace*. Výpočty jednotlivých deformací jsou ve vztazích (7,8,9).

Polyester 1

Tab. 28 Cyklické namáhání 1 u PES I.

Typ deformace	Průměrná hodnota deformace [%]	95 IS [%]
Elastické deformace	83,51	<77,32 ;89,7>
Plastické deformace	10,28	<7,23; 13,31>
Viskoelastické deformace	6,19	<3,05 ;9,33>



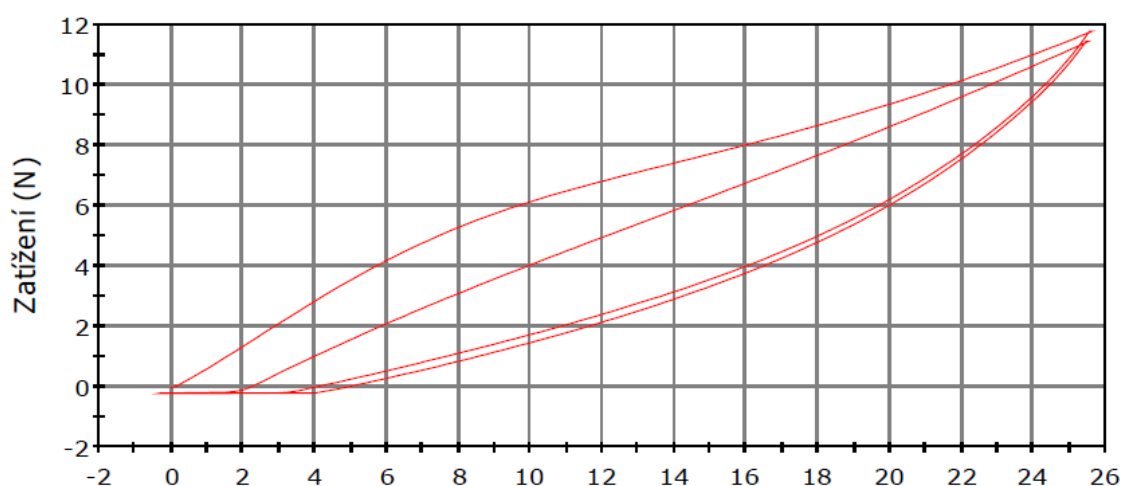
Obr. 26 Cyklické namáhání 1 u PES I.

Zhodnocení

Při cyklickém namáhání 1, vykazoval *polyester 1* z celkového procenta deformací 83,51% *elastické deformace*. *Polyester 1* má při daných testovacích parametrech z největší části *elastické deformace*.

Tab. 29 Cyklické namáhání 2 PES 1.

Typ deformace	Průměrná hodnota deformace [%]	95 IS [%]
Elastické deformace	81,1	<78,8; 83,4>
Plastické deformace	13,69	<11,79; 15,6>
Viskoelastické deformace	4,89	<2,15; 7,63>



Obr. 27 Cyklické namáhání 2 u PES 1.

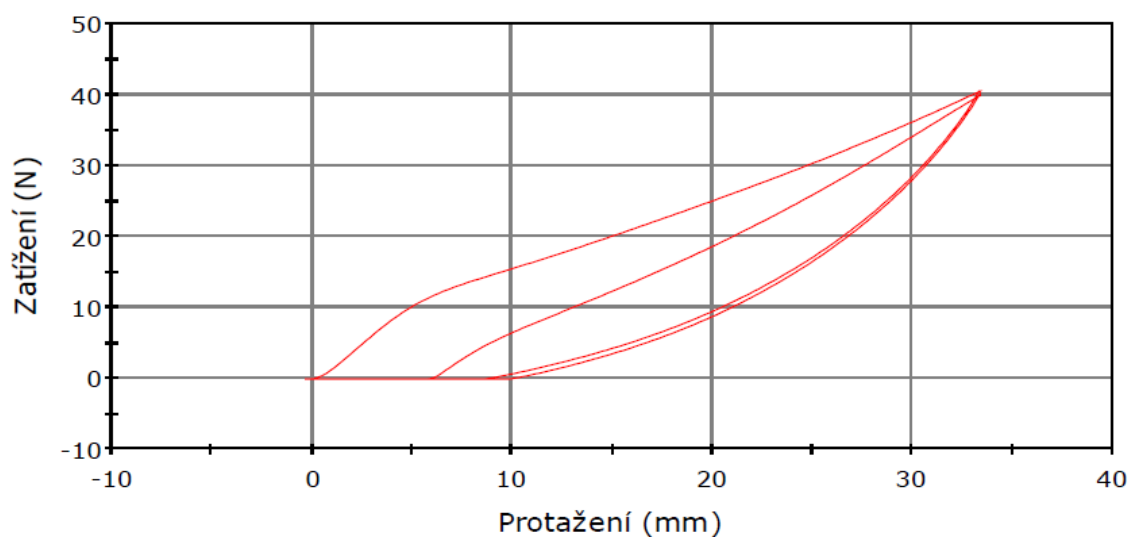
Zhodnocení

Při cyklickém namáhání 2, vykazoval *polyester 1* z celkového procenta deformací 81,1% *elastické deformace*. *Polyester 1* má při daných testovacích parametrech z největší části *elastické deformace*.

Polyester 2

Tab. 30 Cyklické namáhání 1 PES 2.

Typ deformace	Průměrná hodnota deformace [%]	95 IS [%]
Elastické deformace	75,03	<70,51; 79,55>
Plastické deformace	18,82	<12,16; 25,48>
Viskoelastické deformace	6,65	<2,4; 10,9>



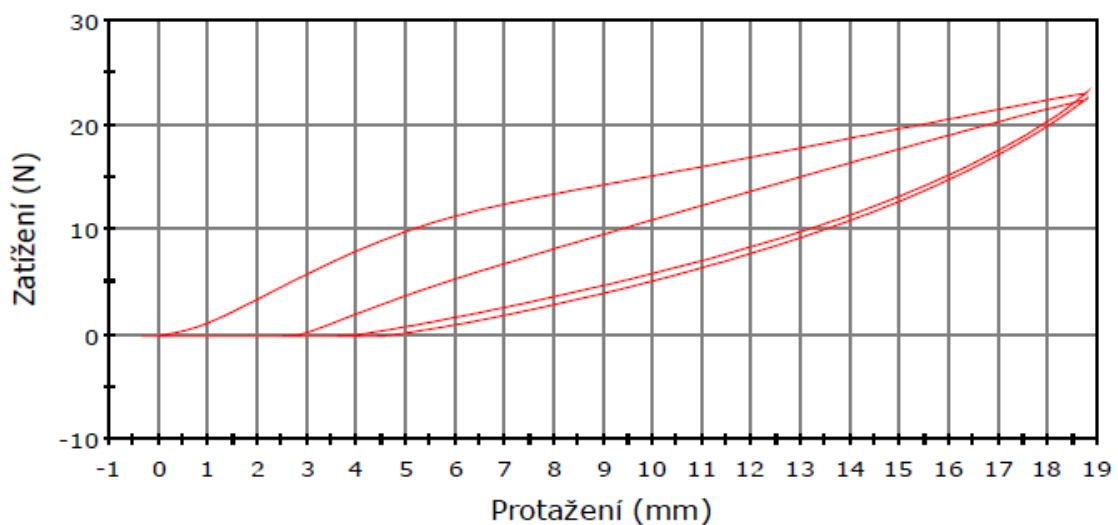
Obr. 28 Cyklické namáhání 1 PES 2.

Zhodnocení

Při cyklickém namáhání 1, vykazoval *polyester 2* z celkového procenta deformací 75,03% *elastické deformace*. *Polyester 2* má při daných testovacích parametrech z největší části *elastické deformace*.

Tab. 31 Cyklické namáhání 2 PES 2.

Typ deformace	Průměrná hodnota deformace [%]	95 IS [%]
Elastické deformace	81,1	<78,8; 83,4>
Plastické deformace	13,69	<11,79; 7,63>
Viskoelastické deformace	4,89	<2,15; 10,9>



Obr. 29 Cyklické namáhání 2 PES 2.

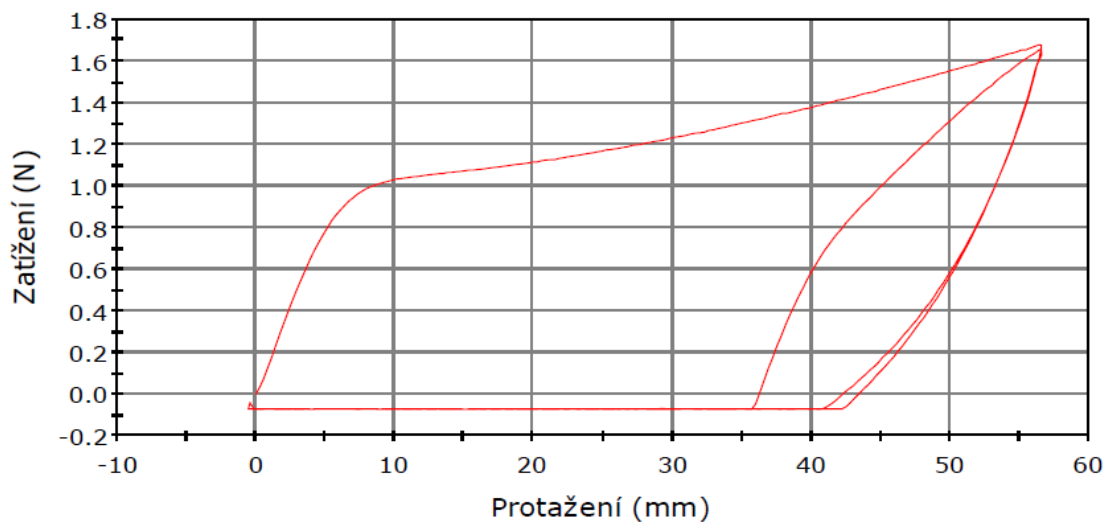
Zhodnocení

Při cyklickém namáhání 2, vykazoval *polyester 2* z celkového procenta deformací 81,1% *elastické deformace*. *Polyester 2* má při daných testovacích parametrech z největší části *elastické deformace*.

Viskóza

Tab. 32 Cyklické namáhání 1 u *CV*.

Typ deformace	Průměrná hodnota deformace [%]	95 IS [%]
Elastické deformace	28,08	<26,91 ;29,25>
Plastické deformace	64,4	<62,19; 66,61>
Viskoelastické deformace	7,92	<6,77; 9,02>



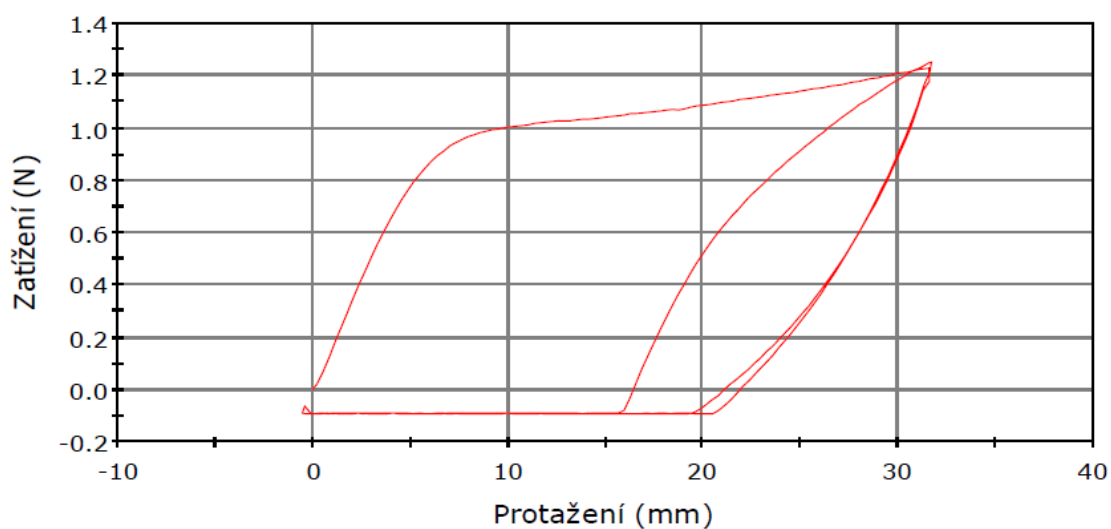
Obr. 30 Cyklické namáhání 1 u *CV*.

Zhodnocení

Při cyklickém namáhání 1, vykazovala *viskóza* z celkového procenta deformací 64,4% *plastické deformace*. *Viskóza* má při daných testovacích parametrech z největší části *plastické deformace*.

Tab. 33 Cyklické namáhání 2 u CV.

Typ deformace	Průměrná hodnota deformace [%]	95 IS [%]
Elastické deformace	37,74	<35,1; 40,38>
Plastické deformace	51,35	<50,6; 52,9>
Viskoelastické deformace	11,04	<8,19; 13,89>



Obr. 31 Cyklické namáhání 2 u CV.

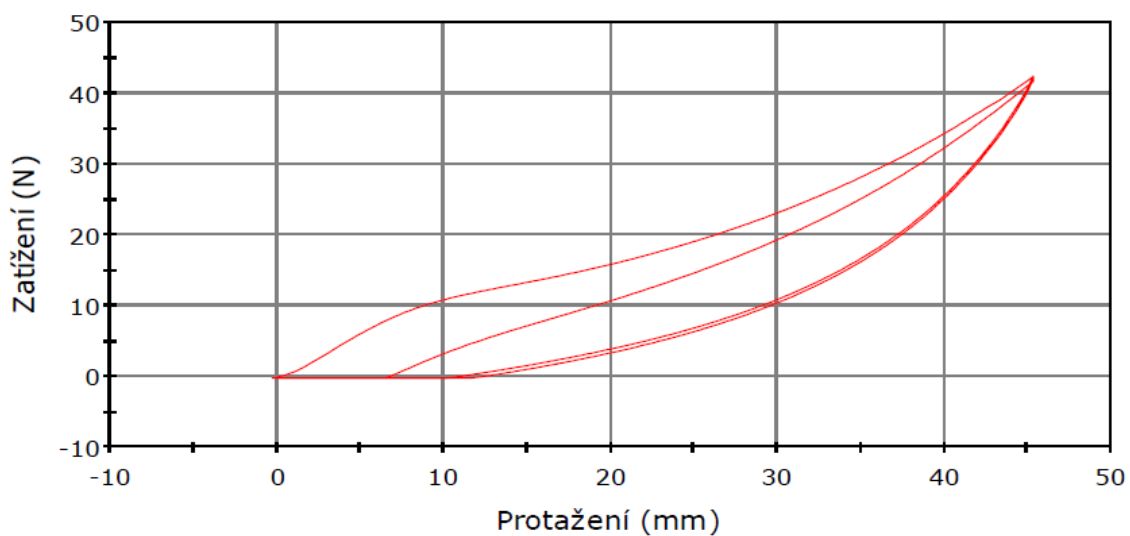
Zhodnocení

Při cyklickém namáhání 2, vykazovala viskóza z celkového procenta deformací 51,35% plastické deformace. Viskóza má při daných testovacích parametrech z největší části plastické deformace.

Polyamid 6

Tab. 34 Cyklické namáhání 1 u PA 6.

Typ deformace	Průměrná hodnota deformace [%]	95 IS [%]
Elastické deformace	78,41	<74,98 ;81,84>
Plastické deformace	13,99	<10,32; 17,65>
Vyskoelastické deformace	8,26	<3,42 ;13,1>



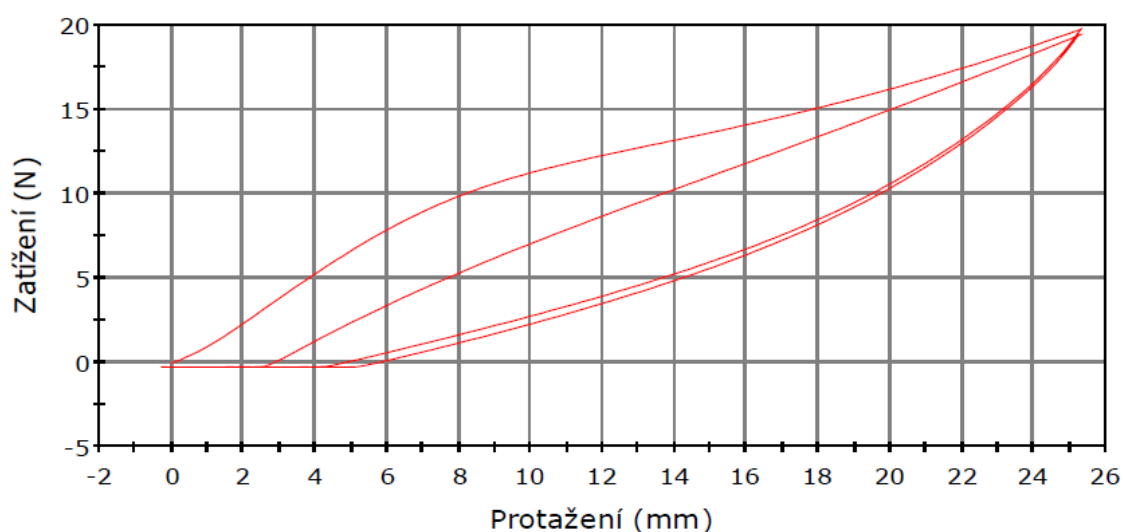
Obr. 32 Cyklické namáhání 1 u PA 6.

Zhodnocení

Při cyklickém namáhání 1, vykazoval *polyamid 6* z celkového procenta deformací 78,41% *elastické deformace*. *Polyamid 6* má při daných testovacích parametrech z největší části *elastické deformace*.

Tab. 35 Cyklické namáhání 2 u PA 6.

Typ deformace	Průměrná hodnota deformace [%]	IS 95 [%]
Elastické deformace	82,03	<75,04; 89,02>
Plastické deformace	12,19	<4,48; 19,89>
Viskoelastické deformace	5,74	<1,47; 10,1>



Obr. 33 Cyklické namáhání 2 u PA 6.

Zhodnocení

Při cyklickém namáhání 2, vykazoval *polyamid 6* z celkového procenta deformací 82,03% *elastické deformace*. *Polyamid 6* má při daných testovacích parametrech z největší části *elastické deformace*.

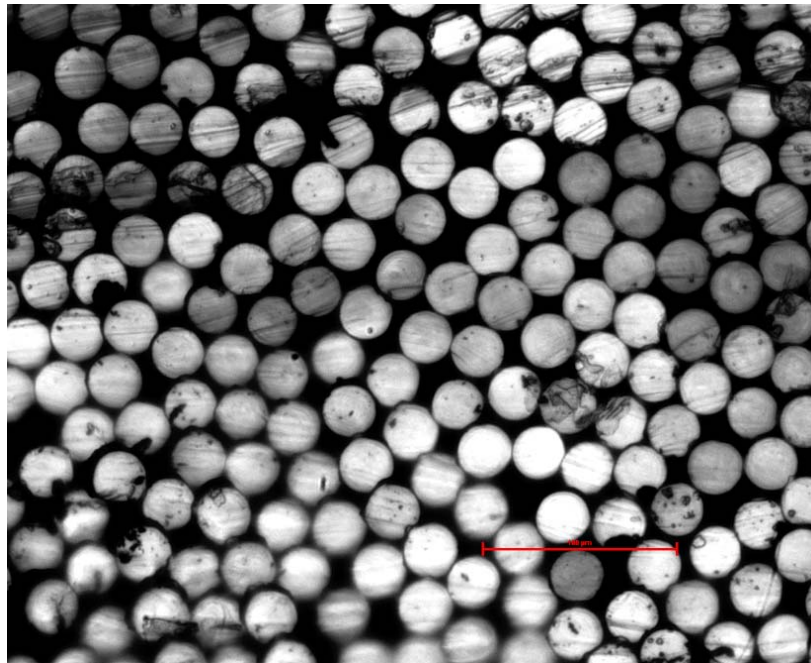
4.6.1 Zhodnocení cyklického namáhání

Výsledky z cyklického namáhání 1,2 potvrzují předchozí naměřené výsledky ověřující vztah (14). Multifilové materiály *polyester 1*, *polyester 2* a *polyamid 6* mají z největší části *elastické deformace*. Multifilový materiál *viskóza* má z největší části *plastické deformace*.

4.6 Příčné řezy multifilovými svazky

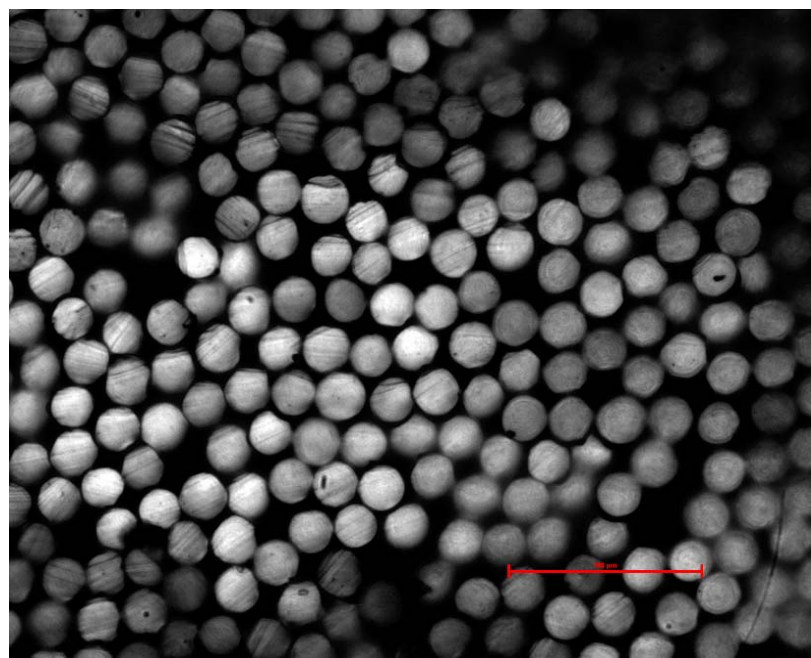
Multifilovými svazky byly provedeny příčné řezy. Těmito příčnými řezy lze charakterizovat tvar průřezu jednotlivých fibril. Měřítka uvedené na snímcích je 100 μm .

Polyester 1



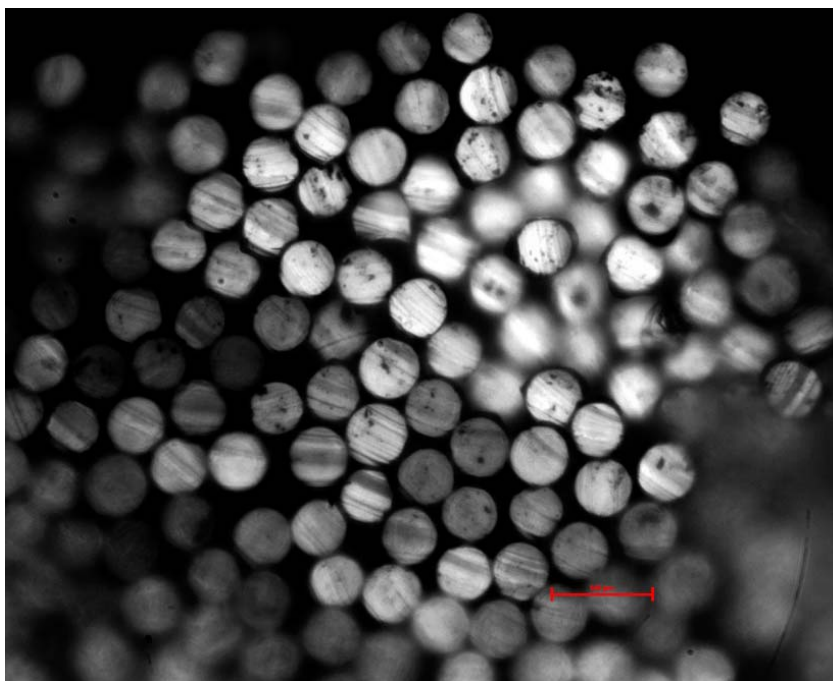
Obr. 34 Příčný řez multifilovým svazkem *PES 1*.

Polyester 2



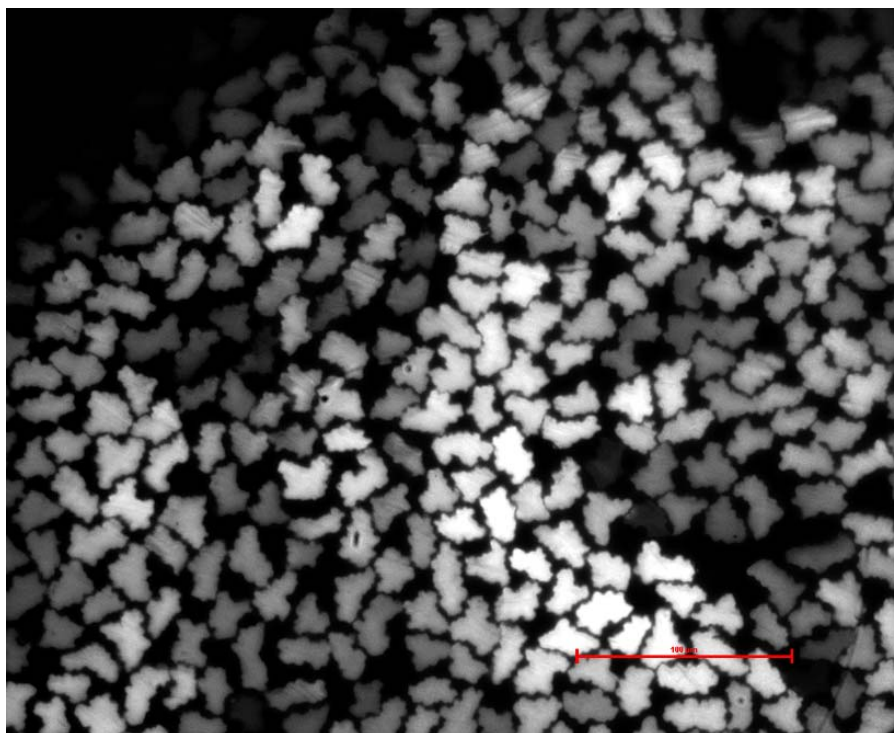
Obr. 35 Příčný řez multifilovým svazkem *PES 2*.

Polyamid 6



Obr. 36 Příčný řez multifilovým svazkem *PA 6*.

Viskóza



Obr. 37 Příčný řez multifilovým svazkem *CV*.

Závěr

Kruhový průřez mají multifilové materiály *polyester 1*, *polyester 2*, *polyamid 6*. Viskóza má nekruhový průřez, Obr. (37).

5. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo ověření vztahu (14) str. 30, popisující tažnost v závislosti na vzrůstajícím zákrutovém koeficientu. Dalším dílčím cílem je stanovení, zda dochází u zakrouceného multifilového svazku k migraci fibril.

Hodnoty tažností modelových hraničních stavů ze vztahu (14) jsou odvozeny z modelu ideálního šroubovicového tvaru. Naměřené tažnosti zakroucených multifilových svazků se výrazně nelišily od vypočítaných hraničních modelových tažností.

Pro ověření vznikajících deformací u zakroucených multifilů bylo provedeno cyklické namáhání. Cyklické namáhání potvrdilo elastické deformace u *PES 1*, *PES 2* a *PA 6*. U těchto materiálů z celkového procenta deformací zaujímají největší podíl elastické deformace. U multifilového materiálu *CV*, zaujímají z celkového procenta deformací největší podíl plastické deformace. Výsledky z cyklického namáhání se shodovaly s výsledky ze vztahu (14) popisující tažnost zakrouceného multifilu v závislosti na vzrůstajícím zákrutu. Vztah (14) odpovídá deformačnímu charakteru jednotlivých materiálů.

K migraci fibril docházelo v největší míře u materiálu *viskóza*. Hodnot modelových hraničních stavů zakroucený a natažený multifilový svazek nikdy nedosáhne. Vždy se bude jednat o kombinaci elastických nebo plastických deformací a migrace fibril. Dle výsledků z grafů na obr. (20, 21, 22, 23, 24, 25) lze říci, že u zakroucených multifilových svazků dochází k migraci fibril.

Pro porovnání s modelem vycházející ze vztahu (14) byl do zařazen Gegauffův model tažnosti zakrouceného multifilu. Tento model předpokládá standardně stoupající trend tažnosti v závislosti na stoupajícím zákrutu. Tento trend nebyl jednoznačně potvrzen. U multifilového materiálu *CV* je snižující se trend tažnosti v závislosti na vzrůstajícím zákrutu. Skutečnost o vlivu charakteru materiálu multifilu na jeho tažnost vyvrací Gegauffovu teorii o standardním stoupajícím trendu tažnosti se zvyšujícím se zákrutem.

U staplových přízí tažnost se zvyšujícím se zákrutem vždy roste Obr. 8, u multifilových materiálů tato závislost není vždy jednoznačná. Charakter jednotlivých

multifilových materiálů jednoznačně ovlivňuje tažnost zakrouceného multifilu. Bylo ověřeno, že u elastických multifilů se se zvyšujícím se zákrutem zvyšuje i jejich tažnost v kombinaci s migrací filamentu. Bylo ověřeno, že u plastických multifilů se se zvyšujícím se zákrutem snižuje i jejich tažnost v kombinaci s migrací filamentu. Pro využití v praxi postačí znát deformační charakter jednotlivých materiálů. Při znalosti poměru jednotlivých deformačních složek pak lze popsat závislost tažnosti multifilu na vzrůstajícím zákrutu.

V rámci diplomové práce byl úhel sklonu fibril těsně před přetrhem α_b , naměřený pomocí obrazové analýzy a vypočítaný dle vztahu (23). Výsledkem z grafu č. 1 je, že se intervaly spolehlivosti naměřeného sklonu fibril těsně před přetrhem ve většině případů nepřekrývaly se střední hodnotou vypočítaného sklonu fibril těsně před přetrhem. Výsledné hodnoty α_b výrazně ovlivňují modelové hraniční tažnosti - viz příloha. Metodika zakrucování a přenášení zakrouceného multifilu mohla způsobit odlišné výsledky sklonu fibril před přetrhem. Sklon fibril těsně před přetrhem α_b doporučuji vypočítat dle vztahu (23).

Tažnost zakroucených multifilů může ovlivňovat i charakter jednotlivých vláken z hlediska tvaru jejich průřezu. U multifilových materiálů *polyester 1*, *polyester 2* a *polyamid 6* mají jednotlivé fibrily kruhový průřez, Obr. 34, 35, 36. U multifilového materiálů *viskóza* mají fibrily nepravidelný průřez, Obr. 37. Tato skutečnost může také ovlivňovat výslednou tažnost zakrouceného multifilu.

Výsledky ze vztahu (14) popisující tažnost multifilu v závislosti na zákrutovém koeficientu byly v rámci diplomové práce potvrzeny. Výsledky z tohoto vztahu se shodovaly s výsledky z cyklického namáhání. U zakrouceného multifilového svazku dochází k migraci fibril, tedy k jejich odklonu od ideálního šroubovicového tvaru.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

[1] Schwarz, P. (editor): Structure and mechanics of textile fibre assemblies, Woodhead publishing, USA, 2008 ISBN 978-1-84569-523-1

[2] Textile innovation knowledge platform, Texturing, Textile House, Red Doles Lane Huddersfield HD2 1YF [2015-4-16]

Dostupné z: <http://www.tikp.co.uk/knowledge/technology/texturing/>

[3] Association of Textile, Apparel and Materials professionals, Filaments yarns and texturing [online databáze]. North Caroline state university, 2008 [2015-4-28]

Dostupné z: <https://www.aatcc.org/events/online/Textile-Fundamentals-demos/notebooks/texturing.pdf>

[4] Militký, Jiří.: Textilní vlákna [online databáze].Liberec: TUL- Fakulta textilní - katedra textilních technologií ,2001 [2014-3-27]

Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-10-22/12-27-29.ppt>

[5] Jirsák, Oldřich.: Netkané textilie [online databáze].Liberec: TUL- Fakulta textilní - katedra netkaných textilií [2014-3-25]

Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-11-20/12-32-11.pdf>

[6] Pastrnek, Rudolf. Vlach Petr: Finální úpravy textilií [online databáze].Liberec: TUL- Fakulta textilní- katedra textilního zušlechťování,2002 [9-4-2015]

Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2003-01-16/12-24-33.pdf>

[7] Ursíny, Petr.: PŘEDENÍ II [online databáze].Liberec: TUL- Fakulta textilní - katedra textilních technologií,2001 [2015-3-21]

Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-10-22/10-03-18.pdf>

[8] Ursíny, Petr.: PŘEDENÍ I [online databáze].Liberec: TUL- Fakulta textilní - katedra textilních technologií,2001 [2015-3-21]

[9] Neckář, Bohuslav.: Struktura a vlastnosti textilií [online databáze].Liberec: TUL- Fakulta textilní - katedra textilních technologií [2015-4-28]

Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2008-07-18/13-51-50.pdf>

[10] Jirásková, Petra. Eva, Moučková.: Výpočty v přádelnické technologii [online databáze].Liberec: TUL- Fakulta textilní - katedra textilních technologií,2007 [2015-4-22]

Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-11-21/12-09-50.pdf>

[11] Vyšanská, Monika.: Úvod do mechaniky textilií [online databáze].Liberec: TUL- Fakulta textilní - katedra textilních technologií [2015-1-28]

Dostupné z:

http://www.ktt.tul.cz/index.php?page=predmety&action=detail&id_predmet=65

[12] Heartle, J. W.S, Grosberg, P., Backer, S.: Structural mechanics of fibers, yarns and fabric. John Wiley & Sons, 1969. SBN 471 36669 2.

[13] Morton, W. E., Hearle, J. W. S.: Physical properties of textile fibers, Textile Institute, 1997, UK, ISBN 1 870812 41 7

[14] Vyšanská, Monika.: Analýza obrazu textilií [online databáze].Liberec: TUL- Fakulta textilní - katedra textilních technologií [2015-2-15]

Dostupné z:

http://www.ktt.tul.cz/index.php?page=predmety&action=detail&id_predmet=64

[15] Picek, Jan.: Statistika [online databáze].Liberec: TUL- Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická - katedra aplikované matematiky, 2012 [2015-1-11]

Dostupné z: <https://kap.fp.tul.cz/student/subcross/170-statistika-pro-manegement>

[16] Meloun, Milan.: Analýza malých výběrů [online databáze]. [2014-12-19]

Dostupné z: meloun.upce.cz/docs/lecture/chemometrics/slidy/35horn.pdf

[17] ČSN EN ISO 2062 (80 0700) Textilie. Nitě na návinech - Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu. Brno: Textilní zkušební ústav, 2010.

[18] ČSN EN ISO 2061 (80 0709) Textilie. Zjišťování zákrutu nití- Metoda přímého počítání. Brno: Textilní zkušební ústav, 2010.

[19] Laboratoř struktury textilií, Přístroje a zkoušky. 1270820134.jpg. TUL- Fakulta textilní - katedra textilních technologií [2015-5-02]

Dostupné z:

<http://www.ktt.tul.cz/download/1270820134.jpg>

[20] ČSN EN ISO 2076 (80 0010) Textilie. Chemická vlákna - Druhové názvy. Brno: Textilní zkušební ústav, 2011.

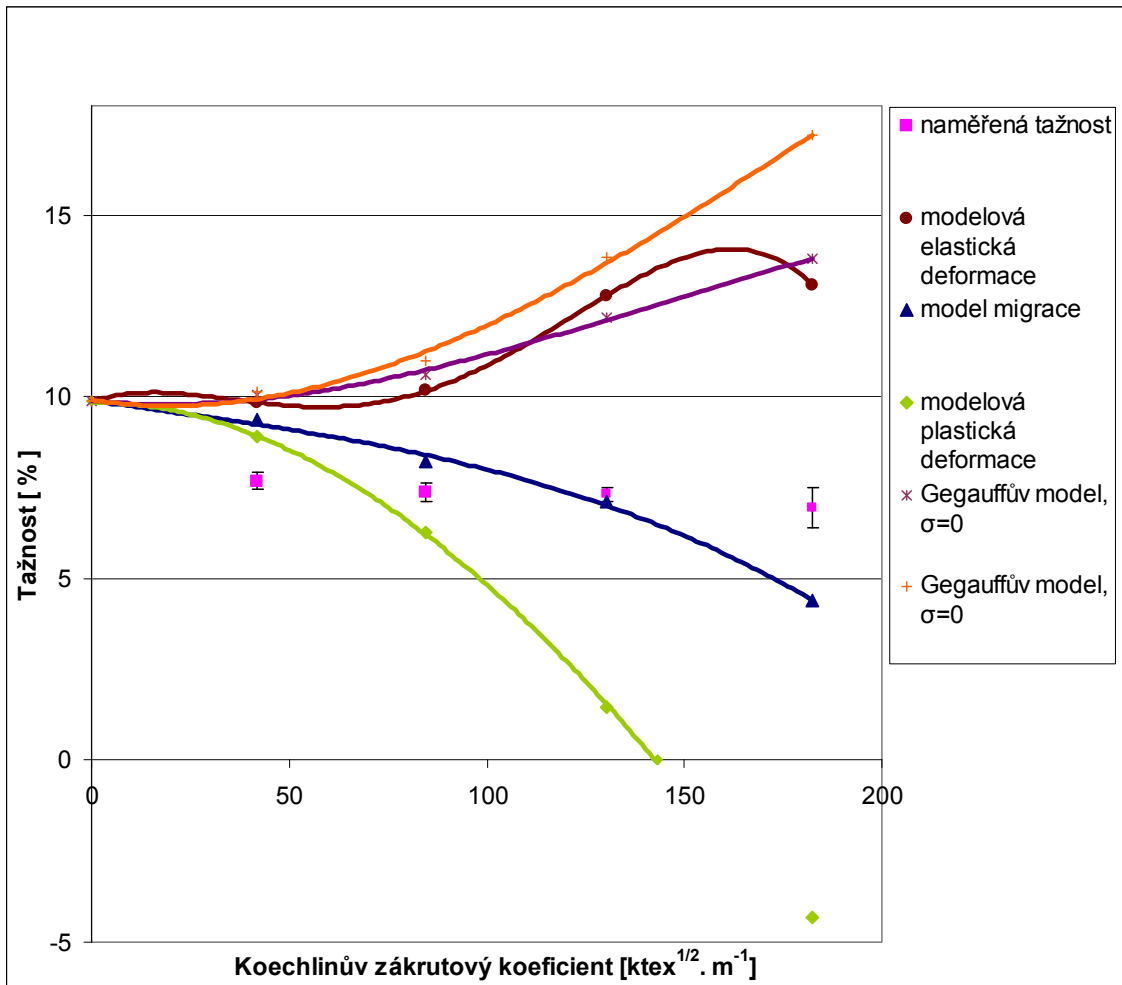
7. PŘÍLOHY

Naměřený sklon fibril těsně před přetrhem α_b .

Polyester 1

Tab. 36 Výsledky měření tažnosti materiálu PES 1.

Typ měření	α [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [%]	95 % IS [%]
Naměřená tažnost	41,71	7,68	0,60	3,72	<7,44; 7,91>
	84,53	7,37	0,65	1,64	<7,11; 7,62>
	130,30	7,32	0,48	5,94	<7,13; 7,51>
	182,43	6,94	1,39	10,13	<6,39; 7,50>
Modelová elastická deformace	41,71	9,84			
	84,53	10,14			
	130,3	12,78			
	182,43	13,08			
Model migrace	41,71	9,36			
	84,53	8,22			
	130,3	7,1			
	182,43	4,38			
Modelová plastická deformace	41,71	8,88			
	84,53	6,28			
	130,3	1,44			
	182,43	-4,32			
Gegauffův model $\sigma_y=0$	41,71	10,03			
	84,53	10,59			
	130,3	12,19			
	182,43	13,78			
Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	41,71	10,12			
	84,53	10,99			
	130,3	13,82			
	182,43	17,18			

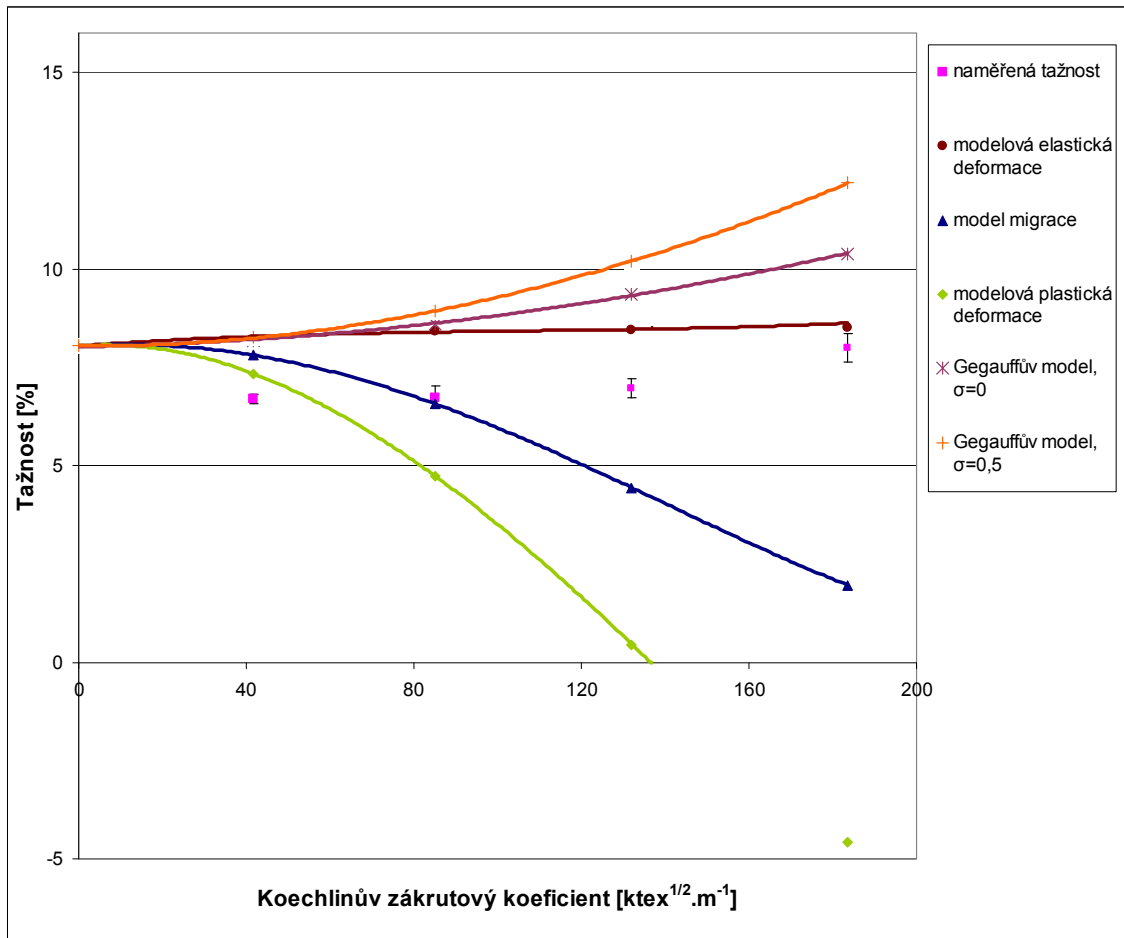


Obr. 38 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, PES I.

Polyester 2

Tab. 37 Výsledky měření tažnosti materiálu PES 2.

Typ měření	a [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [%]	95 % IS [%]
Naměřená tažnost	41,76	6,69	3,39	0,23	<6,57; 6,82>
	85,03	6,73	5,82	0,4	<6,44; 7,02>
	131,93	6,97	6,47	0,45	<6,72; 7,21>
	183,68	7,99	6,95	0,6	<7,63; 8,37>
Modelová elastická deformace	41,76	8,28			
	85,03	8,4			
	131,93	8,43			
	183,68	8,5			
Model migrace	41,76	7,8			
	85,03	6,57			
	131,93	4,44			
	183,68	1,96			
Modelová plastická deformace	41,76	7,33			
	85,03	4,74			
	131,93	0,45			
	183,68	-4,58			
Gegauffův model $\sigma_y=0$	41,76	8,18			
	85,03	8,61			
	131,93	9,37			
	183,68	10,39			
Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	41,76	8,25			
	85,03	8,93			
	131,93	10,2			
	183,68	12,18			

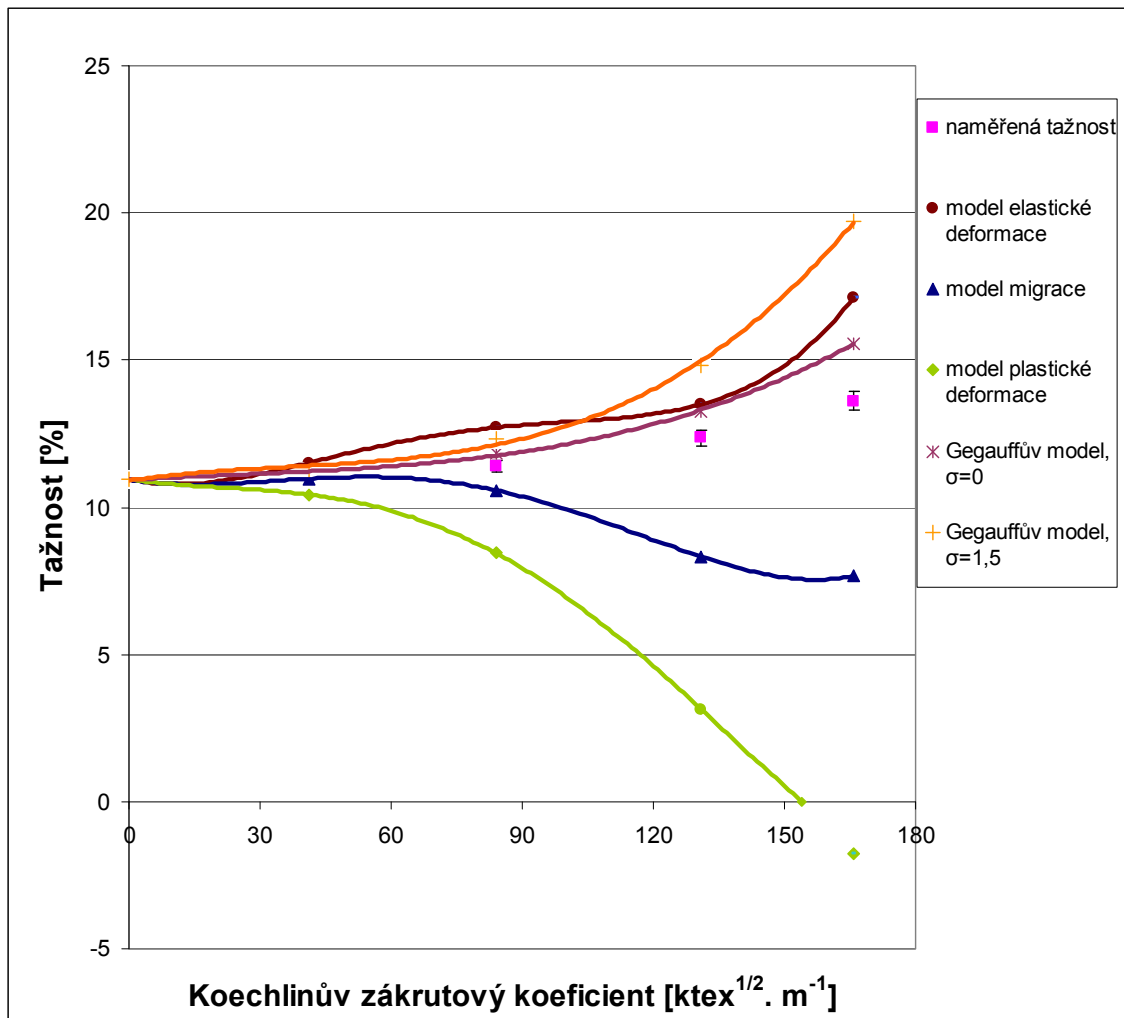


Obr. 39 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, PES 2.

Polyamid 6

Tab. 38 Výsledky měření tažnosti materiálu PA 6.

Typ měření	α [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [%]	95 % IS [%]
Naměřená tažnost	41,19	11,18	3,42	0,39	<10,98; 11,37>
	84,03	11,39	3,36	0,38	<11,2; 11,58>
	130,94	12,36	4,42	0,56	<12,69; 12,63>
	165,78	13,62	3,58	0,50	<13,3; 10,98>
Modelová elastická deformace	41,19	11,51			
	84,03	12,71			
	130,94	13,5			
	165,78	17,12			
Model migrace	41,19	10,97			
	84,03	10,57			
	130,94	8,32			
	165,78	7,67			
Modelová plastická deformace	41,19	10,43			
	84,03	8,43			
	130,94	3,14			
	165,78	-1,78			
Gegauffův model $\sigma_y=0$	41,19	11,17			
	84,03	11,83			
	130,94	13,26			
	165,78	15,57			
Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	41,19	11,27			
	84,03	12,33			
	130,94	14,83			
	165,78	19,72			

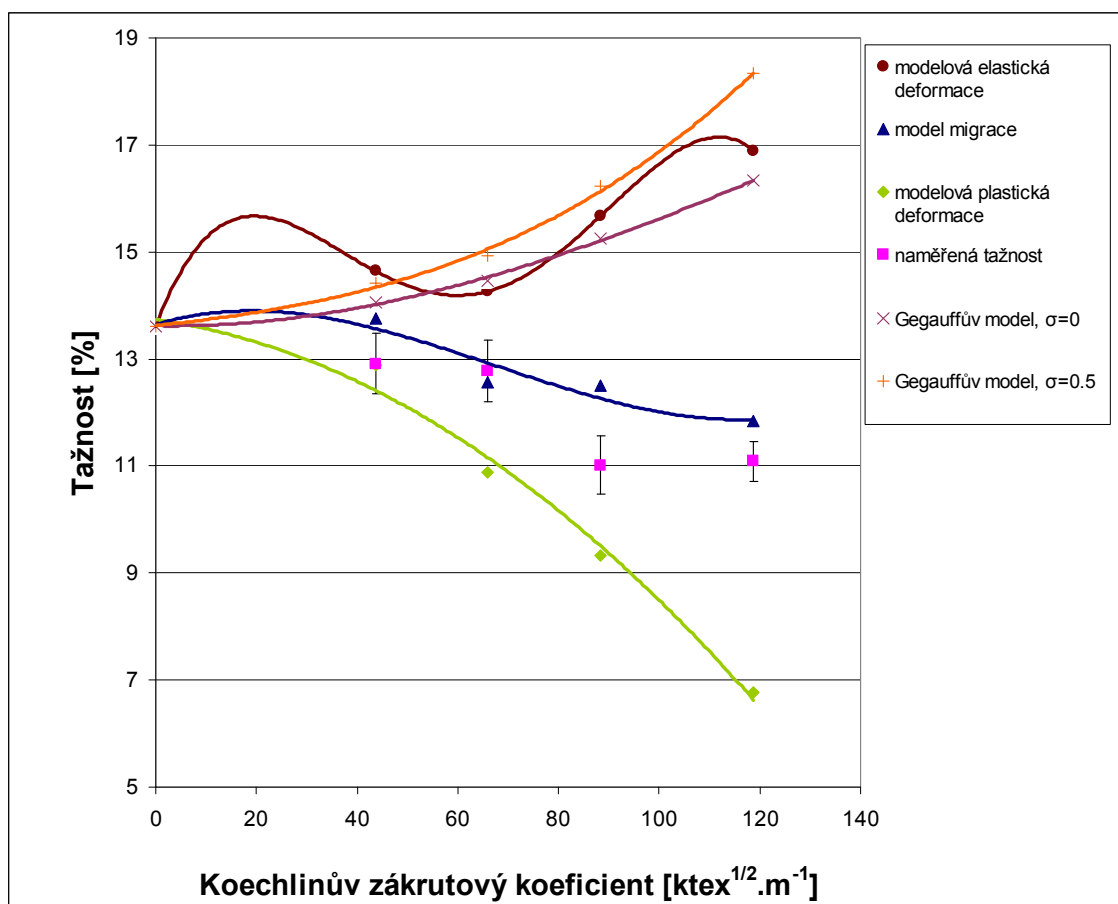


Obr. 40 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, PA 6

Viskóza

Tab 39. Výsledky měření tažnosti materiálu *CV*.

Typ měření	α [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [%]	95 % IS [%]
Naměřená tažnost	43,63	12,91	8,21	1,06	<12,34; 13,47>
	65,82	12,78	6,77	0,86	<12,20; 13,40>
	88,37	11,01	5,57	0,62	<10,47; 11,55>
	118,769	11,08	4,76	0,53	<10,72; 11,45>
Modelová elastická deformace	43,63	14,24			
	65,82	14,26			
	88,37	15,67			
	118,769	16,9			
Model migrace	43,63	13,76			
	65,82	12,59			
	88,37	12,49			
	118,769	11,83			
Modelová plastická deformace	43,63	12,88			
	65,82	10,87			
	88,37	9,32			
	118,769	6,76			
Gegauffův model $\sigma_y=0$	43,63	14,05			
	65,82	14,47			
	88,37	15,25			
	118,769	16,33			
Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	43,63	14,41			
	65,82	14,92			
	88,37	16,22			
	118,769	18,33			



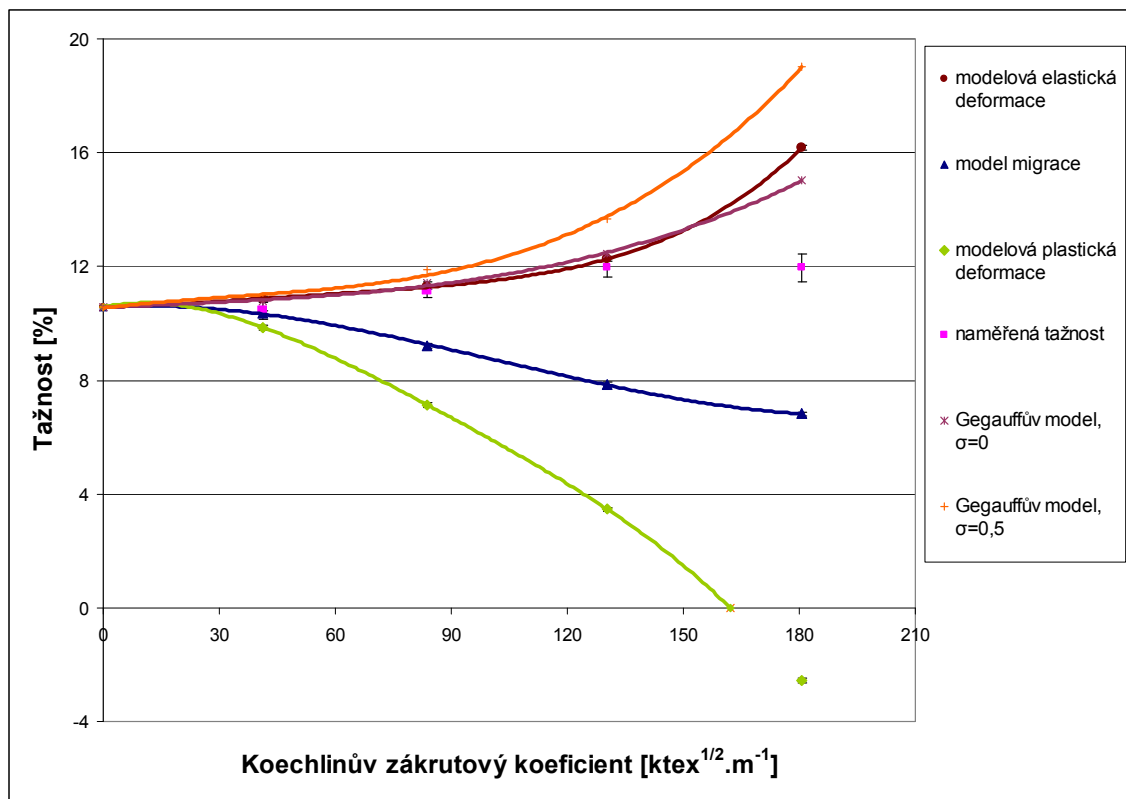
Obr. 41 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, *CV*.

Družení materiálů

Polyester 1

Tab. 40 Výsledky měření tažnosti materiálu PES I II.

Typ měření	α [$ktex^{1/2}.m^{-1}$]	Tažnost [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [%]	95 % IS [%]
Naměřená tažnost	41,31	10,45	3,84	0,40	<10,15; 10,75>
	83,85	11,18	3,12	0,34	<10,92; 11,44>
	130,39	11,96	3,89	0,47	<11,63; 12,28>
	180,79	11,96	5,08	0,61	<11,48; 12,45>
Modelová elastická deformace	41,31	10,88			
	83,85	11,27			
	130,39	12,27			
	180,79	16,18			
Model migrace	41,31	10,36			
	83,85	9,2			
	130,39	7,86			
	180,79	6,82			
Modelová plastická deformace	41,31	9,85			
	83,85	7,13			
	130,39	3,46			
	180,79	-2,55			
Gegauffův model $\sigma_y=0$	41,31	10,77			
	83,85	11,40			
	130,39	12,45			
	180,79	15,03			
Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	41,31	10,89			
	83,85	11,87			
	130,39	13,66			
	180,79	19,04			

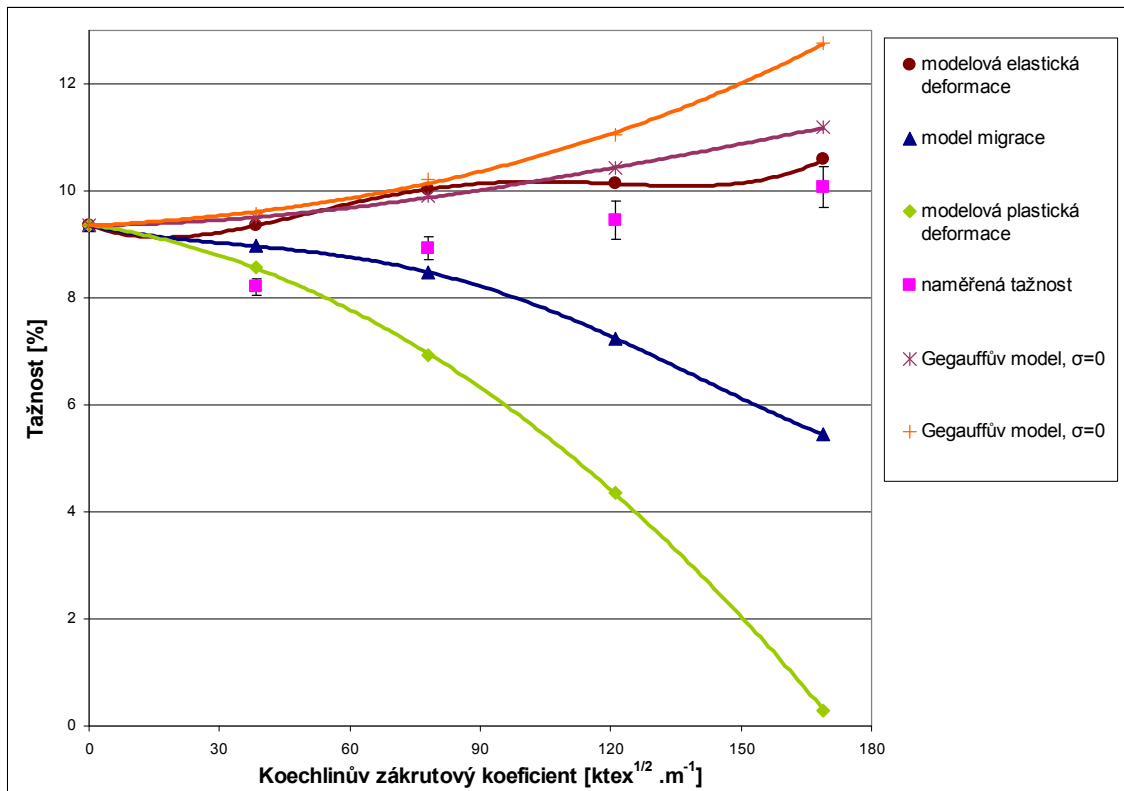


Obr. 42 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, *PES I II*

Polyester 2

Tab. 41 Výsledky měření tažnosti materiálu PES 2 II.

Typ měření	α [$ktex^{1/2} \cdot m^{-1}$]	Tažnost [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [%]	95 % IS [%]
Naměřená tažnost	38,38	8,21	3,20	0,31	<8,06; 8,37>
	78,02	8,92	3,69	0,40	<8,70; 9,15>
	121,02	9,45	5,95	0,36	<9,09; 9,81>
	168,94	10,1	6,59	0,50	<9,69; 10,46>
Modelová elastická deformace	38,38	9,35			
	78,02	10,03			
	121,02	7,96			
	168,94	6,74			
Model migrace	38,38	8,97			
	78,02	8,48			
	121,02	5,14			
	168,94	1,77			
Modelová plastická deformace	38,38	8,58			
	78,02	6,93			
	121,02	2,31			
	168,94	-3,19			
Gegauffův model $\sigma_y=0$	38,38	9,49			
	78,02	9,89			
	121,02	10,42			
	168,94	11,38			
Gegauffův model $\sigma_y=0,5$	38,38	9,56			
	78,02	10,21			
	121,02	11,05			
	168,94	12,76			



Obr. 43 Výsledky závislosti tažnosti na Koechlinovu zákrutovém koeficientu, PES 2 II.