

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2009

Pavla Svatoňová

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Katedra textilních technologií

Studijní obor: Textilní materiálové inženýrství



PŘÍSPĚVEK K PROJEKTOVÁNÍ TKANIN Z MULTIFILŮ

CONTRIBUTION TO PROJECTION OF THE MULTIFILAMENTS FABRICS

Vedoucí práce: Ing. Jana Drašarová, PhD.

Konzultant: Ing. Bc. Monika Vyšanská, PhD.

Počet stran: 52

Počet obrázků: 16

Počet příloh: 4

Prohlášení

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

Souhlasím s umístěním *diplomové* práce v Univerzitní knihovně TUL.

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

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

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

V Liberci, dne 10. května 2009

.....

Podpis

Poděkování

Touto cestou chci poděkovat své rodině a všem ostatním, kteří mě po celou dobu mého studia podporovali, a to nejen finančně, za velkou motivaci, kterou mi poskytli.

Mé poděkování patří také vedoucí diplomové práce paní Ing. Janě Drašarové Ph.D., za pomoc a trpělivost při vzniku této práce. Zároveň chci poděkovat paní Kanalošové, která mi pomáhala při experimentech.

Anotace

Práce se zabývá platností dostupných systémů - modelů, pomocí kterých lze projektovat vlastnosti multifilových tkanin.

V první části byly popsány odlišnosti v geometrických strukturách délkových textilií a dopady těchto struktur na odlišné projevy ve tkanině.

Druhá část je zaměřena na určení základních parametrů a mechanicko-fyzikálních charakteristik multifilových tkanin. Na základě porovnání experimentálně zjištěných hodnot s hodnotami vypočítanými, jsou pro výpočet pevnosti a tažnosti tkanin z multifilů navrženy opravné koeficienty.

Annotation

This bachelor's thesis deals with the validity of the available systems - models used for multifilament fabric characteristics design.

The first part describes divergences in geometric structures of the linear textiles and an impact of this structures to the distinct manifestation in the fabric.

The second part focuses on determination of the basic parameters and mechanical-physical characteristics of the multifilament fabric. Correction coefficients for the strength and extensibility calculations for the multifilament fabric were proposed on the basis of the experimental and calculated results comparison.

Seznam použitých zkratek a symbolů

Symbol, zkratka	Jednotka	Popis
f_n	[-]	vliv jemnosti vláken a délkových textilií, počet vláken
a	[ktex ^{2/3} /m]	zákrutový koeficient podle Prixe
a_{DT}	[m]	šířka niti při stlačení
$A_{o,u}$	[1/m]	rozteč osnovních (útkových) nití
b_{DT}	[m]	výška niti při stlačení
d	[m]	průměr délkové textilie
d_{ef}	[m]	průměr délkové textilie efektní
$D_{o,u}$	[1/m]	dostava osnovy a útku
d_s	[m]	průměr délkové textilie substanční
DT		délková textilie (příze, multifil, aj.)
F_{max}	[N]	absolutní deformační síla
F	[N]	síla
f_l	[-]	vliv délky vláken a jejich nestejnoměrnosti
f_α	[-]	vliv koeficientu zákrutu
$G (G_{o,u})$	[m ²]	plošná hmotnost tkaniny (osnovy, útku)
h	[m]	vzdálenost mezi vlákny
K	[-]	modifikovaná intenzita zákrutu
$k_{o,u}$	[-]	koeficient zahrnující vliv provázání
k_p	[-]	souhrnný vlákenný parametr
$k_{To,u}$	[-]	koeficienty pro určení tažnosti tkaniny
K_{VP}	[-]	koeficient využití pevnosti
l	[km]	délka délkové textilie
l_o	[m]	délka při přetrhu
$l_{o,u}$	[m]	délka niti v úseku tkaniny
l_p	[m]	původní délka textilie
$l_{to,tu}$	[m]	délka úseku tkaniny
m	[g]	hmotnost délkové textilie
M	[-]	souhrnná materiálová konstanta
n_1	[1/min]	frekvence otáčení krutného orgánu
p	[Pa]	tlak
P_{DT}	[N/m]	relativní pevnost délkové textilie

$P_{DT0,u}$	[N]	pevnost délkové textilie
P_p, P_v	[N/tex]	relativní pevnost vláken, tkaniny
$P_{TK0,u}$	[N]	pevnost tkaniny (osnovy, útku)
r	[m]	poloměr průřezu délkové textilie
S	[m ²]	souhrnná plocha vláken
S_c	[m ²]	celková plocha průřezu délkové textilie
$S_{0,u}$	[-]	setkání osnovy nebo útku
t	[tex]	jemnost vláken
$tg\beta_{red}$	[tex]	úhel stoupání šroubovice povrchového vlákna
T	[tex]	jemnost délkové textilie
$T_{0,u}$	[tex]	jemnost osnovy a útku
V	[m ³]	objem vláken délkové textilii
v_1	[m/min]	odtahová rychlost
V_c	[m ³]	celkový objem délkové textilie
Z	[1/m]	strojový zákrut
$Z_{tk, mult}$	[%]	plošné zakrytí tkaniny (multifilu)
α	[ktex ^{1/2} /m]	zákrutový koeficient podle Koechlina
α_p	[-]	navrhnutý koeficient pro pevnost tkaniny
$\alpha_{0,u}$	[m]	relativní šířka příčného řezu osnovy (útku)
β_p	[-]	navrhnutý koeficient pro pevnost tkaniny – vliv úpravy
ε	[%]	Tažnost
ε_1	[-]	relativní stlačení
ε_2	[-]	relativní rozšíření
η	[-]	vliv technologie
κ	[-]	intenzita zákrutu
μ	[-]	zaplnění délkové textilie
μ_{lim}	[-]	limitní zaplnění délkové textilie
π	[-]	Ludolfova konstanta
ρ	[kg/m ³]	měrná hmotnost vláken
σ	[Pa]	napětí

OBSAH

I. ÚVOD	3
II. REŠERŠNÍ ČÁST	4
1 Projektování textilií	4
1.1 Softwarové systémy predikující vlastnosti tkanin	5
2 Délková textilie	6
2.1 Parametry délkových textilií	7
3 Tkanina	12
3.1 Parametry tkaniny	12
3.2 Struktura tkanin s využitím geometrických modelů	14
3.2.1 Model vazné vlny tkaniny	14
3.2.2 Deformace průřezu délkové textilie ve vazném bodě	15
3.2.2.1 Geometrické hypotézy	17
3.2.2.2 Experimentální ověření hypotéz	18
4 Mechanicko-fyzikální vlastnosti	20
4.1 Deformace	20
4.1.1 Deformace tahem	21
4.2 Jednoosá deformace tahem	22
4.2.1 Charakteristiky tahové deformace pro textilie	23
4.2.2 Rozbor deformační – pracovní křivky	25
III. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	27
5 Experiment	27
5.1 Popis vzorků	27
5.1.1 Materiál použitý na výrobu multifilů	27
5.1.2 Základní charakteristiky tkanin	28
5.2 Experimentálně stanovené geometrické parametry tkanin	29
5.2.1 Jemnost multifilů	29
5.2.1.1 Diskuze	29
5.2.2 Zákrut multifilů	30
5.2.2.1 Diskuze	30
5.2.3 Dostava tkaniny	30
5.2.3.1 Diskuze	31
5.2.4 Setkání tkaniny	32
5.2.4.1 Diskuze	34
5.2.5 Plošná hmotnost tkaniny	36
5.2.5.1 Diskuze	37
5.3 Stanovení mechanicko-fyzikálních vlastností	40
5.3.1 Tahová zkouška multifilů	40
5.3.1.1 Diskuze – pevnost a tažnost multifilů	41
5.3.1.2 Diskuze – tahové pracovní křivky multifilů	42
5.3.2 Tahová zkouška tkaniny	44
5.3.2.1 Diskuze – hodnoty pevnosti tkanin	45
5.3.2.2 Diskuze – hodnoty tažnosti tkanin	46
5.3.2.3 Diskuze – tahové pracovní křivky tkaniny	48
6 Závěr	49

7 Literatura.....	51
Příloha č.1 – Testometric CT5	1
Příloha č.2 – Tabulky	2
Příloha č.3 – Křivky tkanin.....	6
Příloha č.4 – Vzorky tkanin po tahovém namáhání.....	8

I. Úvod

Snaha předpovědět (projektovat) chování a vlastnosti textilií vedla v minulosti k vytvoření zjednodušených modelů textilií. K projektování (předpovídání) vlastností textilií existuje mnoho přístupů, ale v současné době se stále více využívá výpočetní techniky. Ta se snaží co nejvíce zohlednit systém: vlastnosti- struktura – tvorba. Vychází se z předpokladu, že výsledné vlastnosti textilií závisí na jejich vnitřní struktuře. Na těchto systémech (modelech) se intenzivně pracuje.

Hlavním cílem této diplomové práce je shrnout stávající systémy (modely), které umožňují předikovat mechanicko-fyzikální charakteristiky multifilů a ověřit jejich platnost. Určit, zda dosud užívané vztahy na výpočet těchto vlastností platí i pro tkaniny z kadeřených multifilů, pokud ne, vztahy vhodným způsobem upravit. Dalším cílem je ozřejmit nakolik se kadeření multifilů projeví (promítne) v parametrech a mechanicko-fyzikálních vlastnostech tkanin.

II. Rešeršní část

1 Projektování textilií

V dnešní době se stále více ve všech oblastech uplatňuje projektový přístup řešení problémů. V tomto případě projekt označuje složitější, komplexní, nerutinní, nelineární (zpravidla jednorázovou neopakovatelnou) operaci resp. proces s definovanými finančními a výkonovými cíli dosahovanými v reálném čase. Obvykle vyžaduje multi-profesní realizační tým, na který se aplikují formalizované metody plánování a řízení.

Pod pojmem projektování obecně je ale spíše míněno nastavení procesů řešení problému, nebo úlohy. Projektování (modelování, simulaci) textilií lze chápat jako proces predikce požadovaných vlastností daného, zpravidla hierarchicky velice komplikovaného a navíc variabilního systému. Používá se za účelem předpovědi (získání) co neoptimálnějších vlastností požadované textilie, aniž by musela být textilie vyrobena a vlastnosti experimentálně zjišťovány. Přístupy k zpracování predikce parametrů se mohou odlišovat. Na řešení problematiky vlastností textilií se v posledních letech intenzivně pracuje. Dle [1], [2] a dalších autorů lze shrnout možnosti přístupu například do těchto kategorií.

1. „černá skříňka“ – zkoumá jen vnější projevy, matematickými metodami vznikají vztahy mezi vstupními a výstupními parametry, na strukturu není ale brán zřetel (např. empirické modely, srovnávání s podobnou textilií známých vlastností, nebo vyrobenou stejným postupem)
2. modelování vybraných vlastností přes zjednodušení vnitřního uspořádání (struktury) textilií (např. *reologické modely*, *geometrické modely*). Vychází ze systému: vlastnosti - struktura –

tvorba, kdy konečné vlastnosti textilií jsou projevem jejich struktury.

3. „bílá skříňka“ zkoumá vnitřní zákonitosti (strukturu), geometrické uspořádání prvků (vláken v délkové textilii, DT v PT) a silové vazby mezi nimi, což je sice přístup komplexní, ale příliš komplikovaný

Obecně lze společně s Neckářem, Drašarovou a Střížem konstatovat, že vzhledem k množství stavebních prvků, variantnosti materiálového složení a konstrukce je popis struktury tkaniny dosti komplikovaný. Musí docházet ke zjednodušením. Platí základní pravidlo, že jediným ověřením modelu je logická konzistence a experiment. [3] , [4], [5], [6]

1.1 Softwarové systémy predikující vlastnosti tkanin

V dnešní době se pro výpočty využívá výpočetní techniky, ovšem i ta pracuje s již dříve známými modely a vztahy. Nejznámější systémy byly popsány např. v [7]. Lze konstatovat, že se jedná převážně o vizualizační systémy. Predikci vlastností poskytují především *Wise Tex* a *LibTex*.

Systém Wise Tex byl vyvinut na katolické univerzitě v Belgii, je určen ke zkoumání délkových textilií, tkanin, vícevrstvých tkanin, stuh, propletů. Pracuje na principu komplikovaných matematických funkcí. S jeho pomocí lze předikovat mechanické a jiné vlastnosti textilií, a též zobrazovat 3D model útvaru. Vstupními parametry pro modelování tkanin (zadávanými uživatelem) jsou – jemnost délkové textilie, průměr délkové textilie, hustota materiálu, dostava osnovy a útku. Modeluje i pevnost a tažnost textilií, ovšem textilie z kadeřeného multifilu zobrazit neumí.

Systém LibTex byl vyvinut na TU v Liberci. Projektuje na základě systému vlákno – délková textilie – tkanina. Predikce vlastností je založena na matematickém modelování v kombinaci s použitím dat z experimentálních výzkumů. Výstupem systému jsou predikované vlastnosti příze (průměr, počet vláken v průřezu, chlupatost, hmotná nestejnomyšnost, pevnost, tažnost). Na základě těchto parametrů příze a zadané dostavy a vazby tkaniny se modeluje tvar příze v tkanině. Následně lze určit délku příze, úhel provázání v tkanině, plošnou hmotnost tkaniny, pevnost a tažnost tkaniny. V současné době lze tento systém použít jen na tkaninu ze 100% bavlny.

2 Délková textilie

Z pohledu této práce je základní stavební jednotkou tkaniny délková textilie (dále DT). Délková textilie je textilní útvar, jehož jeden rozměr je několikanásobně větší než dva zbývající rozměry. Z hlediska struktury tohoto útvaru je nutno zohlednit technologii výroby a typu vláken, ze kterých je DT vyrobena. Je nutno brát v potaz dva základní typy – příze a multifil. [8], [9]

Příze

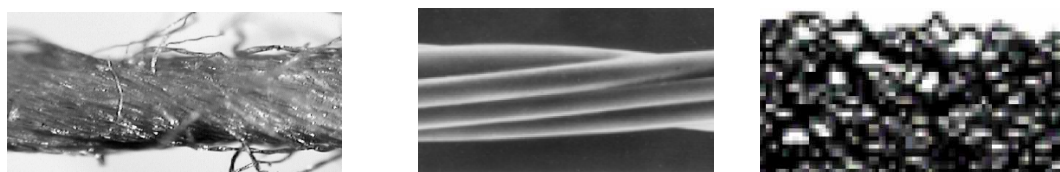
Příze je délková textilie složená ze spřadatelných vláken (*Obr. 2.1a*), zpevněná zákrutem nebo pojením tak, že při přetrhu příze dochází i k přetrhu jednotlivých vláken. [9]

Multifil

Multifil (*Obr. 2.1b*) je soubor nekonečných vláken (monofilů), nemusí být opatřen zákrutem, pak lze hovořit o zákrutu tzv. ochranném. Monofily jsou vyráběny chemickou cestou z přírodních polymerů, syntetických polymerů nebo anorganických látek kovů.

Současný trend je multifily tvarovat, zjemňovat, zobjemňovat, modifikovat za účelem potlačení nebo odstranění jejich negativních vlastností. Modifikace mohou být prováděné v průběhu přípravy polymeru, v průběhu přípravy vlákna nebo při použití vláken.

Kadeření - tvarování multifilu (kadeřený multifil Obr. 2.1c) je operace patřící mezi modifikace v průběhu přípravy vláken. Způsobů tvarování multifilu je několik: *tažení přes hranu, pomocí ozubených kol, tvarování vzduchem, přechovávání, udáním nepravého zákrutu, pletení a následné rozplétání*. Všechny tyto operace vedou k zobloučkovatění vláken. [10]



2.1a) příze ze staplových vláken 2.1b) multifil hadký 2.1c) multifil tvarovaný

Obr. 2.1 Ukázky délkových textilií

2.1 Parametry délkových textilií

Základní parametry mají příze i multifilu společné - jemnost, zákrut a průměr. Rozdílná je vnitřní struktura a z ní vycházející zaplnění. [9], [11]

➤ **Jemnost** T (délková hmotnost), je definována jako podíl hmotnosti m vlákenné hmoty a dané délky l , ale lze ji též vyjádřit jako součin souhrnné plochy vláken S v příčném řezu DT a měrné hmotnosti (hustoty) ρ užitého materiálu. Pro jemnost DT platí vztah

$$T = m / l = S\rho. \quad (2.1)$$

➤ **Zákrut** Z vyjadřuje počet otáček n_1 (zakroucení okolo osy) DT na jednotkovou délku. Počet zákrutů lze vypočítat jako podíl počtu otáček n_1 a odtahové

rychlosti v_1 nebo pomocí zákrutového koeficientu. *Koechlinův zákrutový koeficient* α je používán pro DT hrubé ($T > 10$, např. přásty), *Phrixův zákrutový koeficient* a pro DT jemnější ($T < 10 \text{ tex}$). Tyto zákrutové koeficienty jsou konstantami závisujícími na použitém materiálu, technologii a dalším využití.

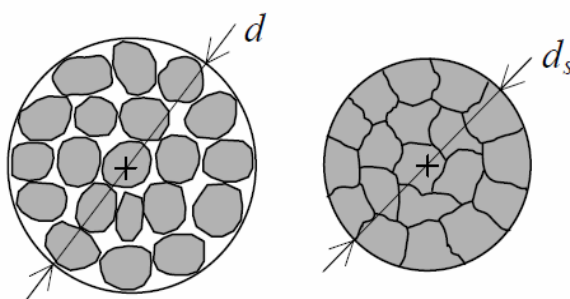
$$Z = n_1 / v_1 = \alpha / \sqrt{T} = a / \sqrt[3]{T^2} \quad (2.2)$$

Míru zakroucení DT lze popsat bezrozměrnou veličinou κ intenzitou zákrutu, která určuje úhel stoupání šroubovice povrchového vlákna. Vystihuje ji vztah

$$\kappa = \tan \beta_{red} = 2\pi Z = \pi d Z, \quad (2.3)$$

kde d je průměr příze. Šroubovicový model DT je idealizovaný a v praxi nereálný, vlákna v reálu migrují.

➤ **Průměr** DT (Obr. 2.2), jako takový, je diskutabilní charakteristika (DT není homogenní, průřez nemusí být kruhový, stěsnání vláken není konstantní - přechází do oblasti chlupatosti, jinou geometrii má DT volná a zatkaná,...) a jeho vyčíslení se váže na metodiku výpočtu nebo měření *zaplnění*.



2.2 a) Reálný průřez DT

2.2 b) Substanční průměr DT

Obr. 2.2 Průměr příze [10]

1. **Průměr substanční** d_s je definován pro vlákna v DT stlačená do homogenního válce, kde nejsou mezi vlákny žádné vzduchové mezery.

Při jeho určení se vychází z *jemnosti* T DT a *měrné hmotnosti* ρ užitého materiálu.

$$d_s = \sqrt{[4S / \pi]} = \sqrt{[4T / (\pi\rho)]} \quad (2.4)$$

2. *Efektivní průměr* d_{ef} , oproti *průměru substančnímu* d_s , nechápe DT jako homogenní těleso, proto do výpočtu zahrnuje *zaplnění příze* μ (více viz. níže).

$$d_{ef} = \sqrt{[4T / (\pi\mu\rho)]} \quad (2.5)$$

Pro určení průměru příze je tedy zaplnění zásadní charakteristikou.

➤ **Zaplnění** μ je bezrozměrná veličina vyjadřující stěsnání vláken v DT.

Obecně lze zaplnění určit jako podíl *objemu vláken* V , ku *celkovému objemu* V_c útvaru (zaplnění objemové) nebo jako podíl *plochy všech vláken* S k *celkové ploše příčného řezu* S_c (zaplnění plošné).

$$\mu = V / V_c = S / S_c \quad \mu < 0; 1 >. \quad (2.6)$$

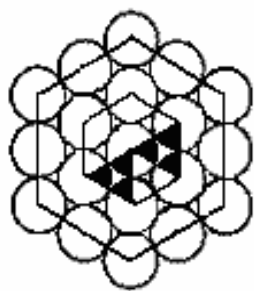
Pro výpočet *substančního průměru* d_s , lze zaplnění vyjádřit ve tvaru

$$\mu = d_s^2 / d_c^2 = 4S / (\pi d^2) = 4T / (\pi d^2 \rho). \quad (2.7)$$

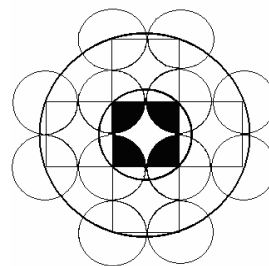
V současné době je pro účely modelování struktury tkanin možno predikovat zaplnění pro následný výpočet průměru příze dvěma způsoby: výpočtem z dosažitelných (idealizovaných) modelů nebo použitím dosud známých empirických materiálových konstant.

➤ **Idealizované modely délkových textilií**

Pro DT chápanou jako ideální svazek paralelních válcových vláken, existují dva idealizované modely možného uspořádání vláken v příčném řezu DT– struktura plástová (hexagonální) a struktura válcová. [11]



2.3 a) Plástová struktura



2.3 b) Válcová struktura

Obr. 2.3 Idealizované tvary příčných řezů – zobrazeno s limitním zaplněním

- Ve **struktuře plástové** (Obr. 2.3a), jsou vlákna sestavena do šestiúhelníkových vrstev, strukturní jednotkou je rovnostranný trojúhelník, jehož zaplnění je

$$\mu = \left[\left(\frac{1}{2} \right) \left(\pi d^2 / 4 \right) \right] / \left[(d + h)^2 \cos 30^\circ / 2 \right] = \left[\pi / (2\sqrt{3}) \right] / [1 + (h/d)]^2. \quad (2.8)$$

Pokud je mezi vlákny vzdálenost $h=0$ (vlákna se dotýkají), je takovéto zaplnění největší možné (tzv. zaplnění limitní, $\mu_{lim} = 0,907$). Když je $h < d/2$ ($\mu > 0,403$) je struktura *kompaktní*. Struktura *přechodová* platí pro $h \in \langle d/2, d \rangle$ ($\mu \in \langle 0,227; 0,403 \rangle$) a pokud je $h > d$ ($\mu < 0,227$) jde o strukturu *volnou* – vlákno má možnost samostatného pohybu, projde mezerou v řadě, aniž dojde k posuvu vláken ostatních.

- Ve **válcové struktuře- kruhové radiální** (Obr. 2.3 b) tvoří vlákna kruhové vrstvy a lze předpokládat, že v každé z nich je obsažen maximálně umístitelný počet vláken. Pro válcovou strukturu platí

$$\mu = \left[\left(\pi d^2 / 4 \right) \right] / (d + h)^2. \quad (2.9)$$

➤ **Zaplnění reálné DT**

Zaplnění reálné DT závisí na typu vláken, technologii výroby, účelu použití DT. Tyto faktory se projeví v její struktuře (vnitřním uspořádání).

Zásadní rozdíl ve struktuře je mezi DT ze staplových (přízí) a nekonečných vláken (multifilem). [12]

Příze

Reálné zaplnění příze vychází z komprimační teorie [11], ta předpokládá, že v reálu jsou vlákna v DT vlivem zákrutu stlačována dostřednými tlaky. Pokud jsou známy základní parametry DT a vláken, lze zaplnění vypočítat pomocí vztahů

$$\frac{\sqrt{\left(\frac{\mu}{\mu_{\lim}}\right)^3}}{\left[1 - \left(\frac{\mu}{\mu_{\lim}}\right)^3\right]^3} = \frac{K}{8 \sqrt{\frac{\pi \mu_{\lim}^3}{\rho}} \sqrt{T} \left(1 - \sqrt{\frac{t}{T}}\right)^2}, \quad (2.10)$$

$$\frac{\sqrt{\left(\frac{\mu}{\mu_{\lim}}\right)^5}}{\left[1 - \left(\frac{\mu}{\mu_{\lim}}\right)^3\right]^3} = \frac{M \sqrt{\pi}}{2000 \sqrt{\mu_{\lim}^5} \sqrt{\rho}} \left(Z \sqrt[4]{T}\right)^2, \quad (2.11)$$

kde μ je zaplnění, $\mu_{\lim}$ limitní zaplnění, t jemnost vláken, ρ měrná hmotnost vlákenného materiálu, T jemnost DT, K modifikovaná intenzita zákrutu. Tu lze vypočítat jako $K = Mtg^2\beta_{red}$, M je souhrnná materiálová konstanta (shrnuje velikost a charakter tloušťky povrchové stlačující vrstvy) a β_{red} je sklon vlákna na poloměru DT redukováném o velikost poloměru vlákna. Hodnoty K , M jsou navrženy na základě experimentů.

S těmito vztahy pracuje systém *LibTex*, který predikuje zaplnění bavlněné příze.

Multifil

Pro popis uspořádání vláken v příčném řezu multifilu se většinou vychází z modelu válcové struktury, kdy se předpokládá, že se multifil již při

mírném zákrutu snaží zaujímat maximálně uspořádanou strukturu a je doporučeno počítat s konstantním zaplněním $\mu \approx 0,7$. [11], [12], [13]

3 Tkanina

Tkanina je plošná textilie, vyrobená při tkaní vzájemným provázáním dvou a více soustav nití. Nejčastěji je tkanina vyrobena ze dvou na sebe kolmých navzájem provázaných soustav - osnovy a útku (tzv. biaxiální tkanina). [8], [14], [15]

Plošnou geometrii tkanin určuje použitý materiál, jemnost (délková hmotnost) použité příze, vazba a dostava (délková hustota) tkaniny. *Prostorou geometrii* - *strukturu* tkaniny ovlivňuje seřízení stroje při tkaní, hlavními parametry jsou: setkání osnovy a útku, zaplnění tkaniny, plošná hmotnost tkaniny, aj.

3.1 Parametry tkaniny

- *Vazba* je způsob vzájemného provázání osnovních a útkových nití. Místo, kde se osnovní nitě kříží s útkovými, se nazývá vazný bod. Vazby se dělí na tři základní – plátnovou, keprovou, atlasovou.
- *Vazný bod* je místo, kde se osnovní niť kříží s útkovou.
- *Dostava* osnovy nebo útku D_o, D_u udává počet nití pn na jednotku délky (ve směru osnovy a útku).
- *Setkání* $s_{o,u}$ je definováno zvlášť pro osnovu a zvlášť pro útek. Vyjadřuje zkrácení osnovy či útku vlivem zatkání. $l_{o,u}$ je *délka niti v úseku tkaniny*, $l_{to,tu}$ je *délka úseku tkaniny*. Setkání může být uvedeno buď jako bezrozměrná veličina, nebo v procentech (pokud výsledek vynásobíme 10²).

$$s_{o,u} = \frac{l_{o,u} - l_{to,tu}}{l_{to,tu}} \quad (3.1)$$

➤ **Plošnou hmotnost** tkaniny lze určit experimentálně - vážením vzorku o určitých rozměrech a následným přepočítáním na jednotky určité plochy (na $1m^2$), nebo predikcí. *Plošnou hmotnost* G vypočteme jako součet *plošné hmotnosti osnovy* G_o a *plošné hmotnosti útku* G_u . Ty závisí na *dostavách* osnovy a útku $D_{o,u}$, *jemnostech* $T_{o,u}$ použitých DT a jejich *setkání* $s_{o,u}$. Z toho lze vyvodit vztah

$$G = G_o + G_u = [D_o T_o (1 + s_o)] + [D_u T_u (1 + s_u)] \quad (3.2)$$

➤ Existují různé parametry, které porovnávají charakteristiky plnosti tkanin (plnost, plošné zakrytí, zaplnění, Walzův stupeň zakrytí, Cover factor, aj.). Použití jednotlivých parametrů závisí na hodnotiteli, zde je zmíněno pouze *plošné zakrytí*.

Plošné zakrytí Z_{tk} vyjadřuje plochu zakrytou DT ku celkové ploše tkaniny (resp. vazného bodu). Definuje se vztahem

$$Z_{tk} = Z_o + Z_u - Z_o Z_u = D_o d_o + D_u d_u - D_o D_u d_o d_u, \quad (3.3)$$

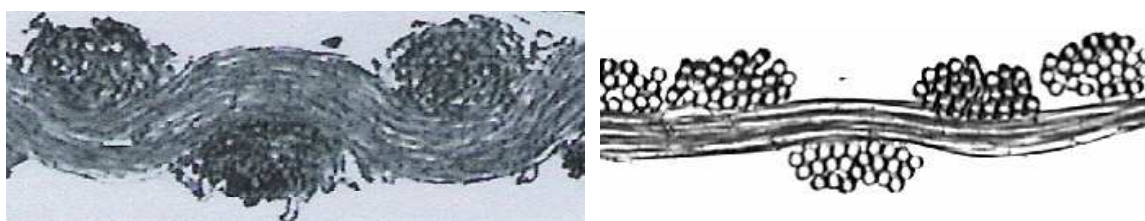
$Z_{o,u}$ je *zakrytí* osnovy (útku) a vypočítá se jako násobek *dostavy* osnovy (útku) $D_{o,u}$ a *průměr* osnovní (útkové) DT $d_{o,u}$. Ovšem tento vztah nezahrnuje zploštění DT, charakteristické pro tkaniny z multifilu. Pro výpočet plošného zakrytí s respektováním specifického zploštění, lze podle Rambouskové [13] užít vztah

$$Z_{mult} = Z_o + Z_u - Z_o Z_u = D_o d_o \alpha_o + D_u d_u \alpha_u - D_o D_u d_o d_u \alpha_o \alpha_u, \quad (3.4)$$

kde $\alpha_{o,u}$ je *relativní šířka příčného řezu* osnovy (útku).

3.2 Struktura tkanin s využitím geometrických modelů

Prostorovou geometrii - strukturu tkaniny lze vyjádřit pomocí geometrických modelů. Geometrický model tkaniny je zjednodušený obraz skutečnosti (Obr. 3.1). Studium složitých jevů reálného světa pomocí zjednodušených modelů je metodou zcela běžnou ve vědě i technice. Model musí co nejlépe odpovídat skutečnosti, zároveň musí být dostatečně obecný a umožňovat matematické modelování. Tvorba modelů vychází nejčastěji z popisu plátnové vazby. Model vazného prvku tkaniny může být sledován ve stavu zrodu nebo ve stavu ustálené tkaniny.



3.1 a) Tkanina ze staplových přízí

3.1 b) Tkanina z multifilů

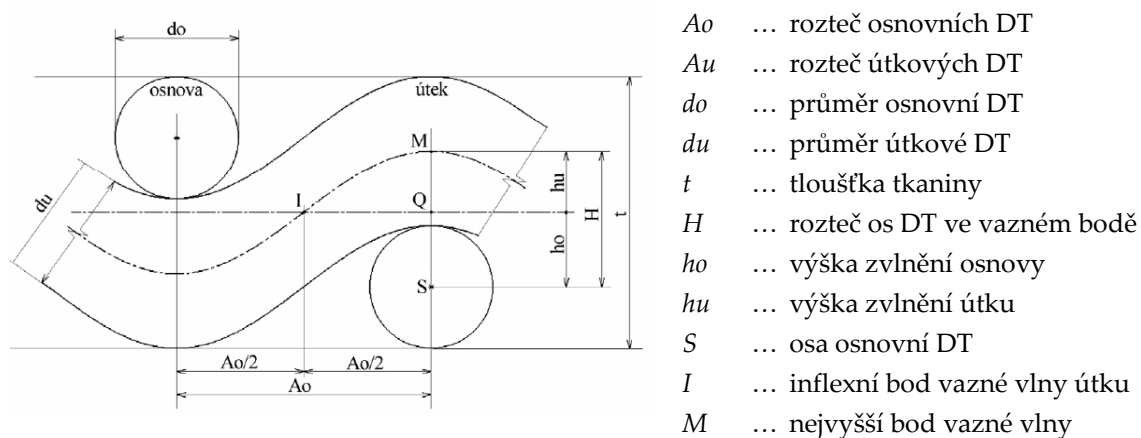
Obr. 3.1 Řez tkaninou

3.2.1 Model vazné vlny tkaniny

Zahrnuje popis okolí jednoho vazného bodu. Při popisu geometrie vazné vlny (Obr. 3.2) byly zavedeny tyto zjednodušující předpoklady (idealizace):

- Model vazné buňky je sledován *v ustálené* (relaxované) *tkanině*.
- *Tkanina je vyrovnaná* (tloušťka tkaniny je rovna součtu průřezů DT).
- Použité DT jsou kompaktními tělesy s *kruhovým průřezem*, nedochází k deformaci průřezů v kontaktních místech ani k zhuštění vláken.
- *Těžiště* jednotlivých kolmých průřezů jsou vždy *ve středu DT*; je možno definovat neutrální osu nitě, jako křivku spojující těžiště všech kolmých řezů niti, totožnou s průběhem vazné vlny osnovní i útkové nitě ve tkanině niti.

- *Inflexní body* neutrálních os všech osnovních a útkových nití leží *v jedné rovině*, zvané střední rovina tkaniny. [4], [16]



Obr. 3.2 Příčný řez tkaniny- vazná vlna tkaniny

Pro rozteč nití platí

$$A_{o,u} = 1 / D_{o,u} \cdot \quad (3.5)$$

Při provazování tkaniny dochází k zvlnění soustav (osnovy nebo útku nebo obou). Velikost a charakter zvlnění (struktura vazné vlny) jsou ovlivněny několika faktory, např. vlastnostmi materiálu, vazbou, seřízením tkacího stroje, aj.

Je relativně jednoduché modelovat (nahradit) vaznou vlnu např. systémem oblouků a úseček (model Peirce), hyperbolickým modelem, matematickým model s využitím Fourierovy řady, aj. [14]. V reálných případech se většinou setkáváme spíše s tkaninou obecnou, nikoliv vyrovnanou, také dochází k deformaci délkové textilie v průřezu.

3.2.2 Deformace průřezu délkové textilie ve vazném bodě

Deformací vlákněného útvaru obecně se zabýval např. C. M. van Wyk. Jeho teorie mezivlákněných kontaktů je značně zjednodušená, vychází z modelu dokonale tuhé krabíčky, kdy při stlačování dochází ke změně výšky

útvary, podstava je neměnná. Pomocí těchto předpokladů byl určen vztah, který vyjadřuje závislost tlaku p na zaplnění μ .

$$p = k_p \mu^3, \quad (3.6)$$

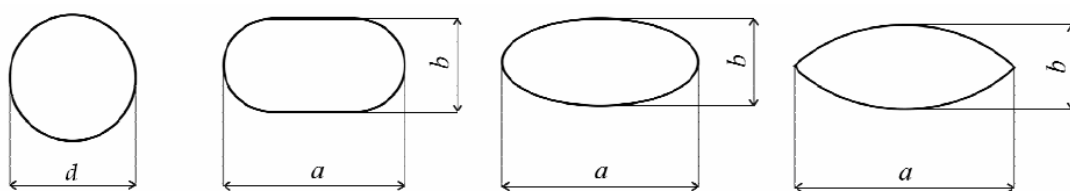
kde k_p určuje souhrnný vlákený parametr. Má za to, že v počátečním stavu kdy $p=p_0$ nabývá $\mu=\mu_0$, což neodpovídá reálné skutečnosti. Hodnota počátečního zaplnění je vždy různá od nuly $\mu>0$. Vztah (3.6) byl několika autory ověřován a spolehlivě platí pouze do zaplnění $\mu<0,35$. Nad tuto hodnotu se funkce stává nereálnou, při vysokých tlacích vychází $\mu>1$, což je v praxi zcela nemožné.

Na van Wyka navázal např. Neckář [3], [11], který zavedl předpoklad, že během stlačování se materiál v místech kontaktů vláken soustředí do granule a hodnota zaplnění μ se stává hodnotou mezní μ_m (největší možné zaplnění, jakého lze dosáhnout). Na základě toho byla stanovena závislost tlaku p na zaplnění μ jako

$$p = k_p \frac{\mu^3}{\left[1 - \left(\frac{\mu}{\mu_m}\right)^{2+a}\right]^3}, \quad (3.7)$$

a je materiálový parametr (podle řady experimentálních zkušeností je pro mnohé materiály $a \approx 1$). Tyto vztahy jsou využívány např. při odvození komprimační teorie, ale pro řešení deformace příze v příčném řezu vazného bodu dosud aplikovány nebyly.

Vlivem sil (ohybu, tahu, tlaku) působících na DT se mění tvar průřezu DT (Obr. 3.3). Nejvýrazněji se deformace projevuje v místě vazného bodu. Kruhový průřez se v modelech nahrazuje jiným geometrickým útvarem, pokud možno snadno definovatelným. Takovýmto útvarem může být ovál, elipsa, čočka.



3.3a) kruh

3.3b) ovál

3. c) elipsa

3.3d) čočka

Obr. 3.3 – Tvar průřezu DT vlivem stačení

Tato teorie vychází z experimentu, kdy byly příze stlačovány mezi rovnoběžnými deskami. Byla definována šířka a_{DT} a výška b_{DT} a ve vztahu k původnímu průměru d , byl určen vztah pro *relativní stlačení*

$$\varepsilon_1 = (b_{DT} - d) / d , \quad (3.8)$$

a *relativní rozšíření*

$$\varepsilon_2 = (a_{DT} - d) / d . \quad (3.9)$$

3.2.2.1 Geometrické hypotézy

Vztah mezi parametry příčného řezu před a po deformaci řeší dvě alternativní hypotézy, ty vycházejí z představy geometrické podobnosti.

1) Hypotéza o zachování plochy

Pokud je plocha neměnná (konstantní), pak při stlačování musí vzrůstat obvod, minimálně proto, že se kruhový tvar průřezu změnil na jiný tvar. Změny v obvodu jsou také zapříčiněny uvolněním dostředných sil, nemění se objem mezivláknenných pórů, tudíž se zaplnění také nemění nebo klesá.

2) Hypotéza o zachování obvodu

V případě neměnného obvodu se vlákna v DT přibližují (zhušťují), tím se plocha průřezu zmenšuje. Dochází ke zmenšení mezivláknenných pórů a roste zaplnění.

3.2.2.2 Experimentální ověření hypotéz

Experimentální rozbor tkaniny ukazuje a hodnotí deformaci DT ve vazném bodě. Reálné experimenty také dokazují [4], [13], odlišné chování u přízí a multifilů.

Příze

Na základě experimentů [4], [13], [18] bylo dokázáno, že:

- I bez zatížení mají příze ve vazných bodech deformovaný tvar. Průměry přízí vypočítané na základě komprimační teorie jsou nadhodnocené. Hodnoty relativního stlačení a relativního rozšíření přízí různých jemností a různé technologie dopřádání v relaxované tkanině se statisticky výrazně neliší, vliv mají finální úpravy.
- Deformace příze ve vazném bodě tkaniny i při stlačování mezi dvěma rovnoběžnými deskami probíhá stejným mechanismem a dobře ji vystihuje *hypotéza o zachování obvodu* tj. vlákna se přibližují (zhušťují), plocha průřezu se zmenšuje, roste zaplnění.
- Při tahovém namáhání tkaniny dle Pituchy [17], *hypotéza o zachování obvodu* pro deformaci příze v ose namáhání neplatí. Hodnoty plochy i obvodu se při deformaci zmenšují.

Multifil

Na základě experimentů bylo ukázáno, že:

- Lze říci, že se závislost mezi relativním rozšířením a relativním stlačením, ve vazném bodě tkaniny bez zatížení, blíží hypotéze o zachování konstantní plochy. Hodnoty pro tkaninu z multifilu neodpovídají přesně žádnému ze zmiňovaných modelů, jakoby se zvětšovala plocha příčného řezu. Vysvětlení spočívá patrně v nastavení vysoké hodnoty zaplnění $\mu=0,7$ a také je multifil většinou opatřen pouze nízkým zákrutem a může tedy snadno docházet k jeho

„rozsypání“. Poměr mezi relativním stlačením a relativním rozšířením dosáhl nejvyšších hodnot při nejnižší dostavě a malém zákrutu. Z toho lze vyvodit, že čím menší je udělený zákrut a dostava, tím vyšší jsou hodnoty relativního stlačení a relativního rozšíření.

- Parametry průřezu multifilu se při radiálním stlačení blíží hypotéze o zachování plochy, zaplnění se tedy příliš nemění. Dle Rambousková [13] byly navrženy regresní vztahy pro predikci *zploštění* α multifilu ve vazném bodě nezatížené tkaniny pro různé typy materiálů v závislosti na jemnosti, zákrutu a dostavě.

Všechny dosavadní dostupné práce zabývající se geometrií tkaniny z multifilu předpokládají strukturu hladkého, nekadeřeného multifilu. Multifil je ovšem často používán v tzv. kadeřené (tvarované) formě.

Lze předpokládat, že u kadeřeného multifilu bude určení zaplnění a definování příčného rozměru problematické. Spíše než o průměru válcového tělesa lze hovořit o společném prostoru, který vlákna zaujímají. Průzkumem struktury takovýchto tkanin metodou zhotovování příčných řezů vaznou vlnou se v současné době zabývá Louda [19]. Je otázkou, nakolik metodika zalévání tkaniny do media ovlivní strukturu kadeřeného multifilu.

4 Mechanicko-fyzikální vlastnosti

Mechanicko-fyzikální vlastnosti popisují souhrn jevů charakterizujících chování materiálů za působení určitého namáhání, které vzniká v důsledku působení vnějších sil a okolního prostředí. Vlivem těchto sil dochází k deformaci (změně tvaru tělesa). Vnější síla vyvolává v tělese *napětí* σ , což vyvolá odpovídající deformaci ϵ .

4.1 Deformace

Deformace tělesa může být *dočasná* (*pružná, elastická*)- těleso po odlehčení dosáhne původního tvaru a rozměrů, nebo *trvalá* (*viskózní, plastická*)- dojde k nevratným změnám v poloze atomů tělesa (v textilní struktuře můžeme uvažovat základní jednotku vlákno, nebo dokonce i přízi), tvar tělesa se po odstranění působící síly již nevrátí do původního stavu. [20]

Důležitými faktory deformace jsou:

➤ Typy sil působících na těleso. Podle těchto typů sil jsou odvozené druhy deformačních zkoušek, nejčastěji užívaných je 5 základních typů:

- **Tah** - na těleso působí dvě stejně velké normálové síly ve směru ven z tělesa, těleso leží na stejné vektorové přímce jako působící síly.
- **Tlak** - je způsoben dvěmi normálovými silami, působícími proti sobě směrem do tělesa ve stejné vektorové přímce.
- **Ohyb** - současně probíhá deformace tahem a tlakem. Působí dvě normálové síly, na jedné (př. vrchní) straně působí tah, kdežto na druhé (př. spodní) straně působí tlak.
- **Smyk (střih)** - je způsoben tečnou silou.
- **Krut** – jedná se o zvláštní případ smykové deformace, jež je vyvolána působením dvojice sil.

- Časový průběh zatížení - to může být po dobu deformace konstantní nebo proměnlivé (např. deformace ve více cyklech).
- Doba zatížení (od zlomku sekundy až po dobu velmi dlouhou).
- Teplota, při níž experiment probíhá.

4.1.1 Deformace tahem

Deformaci tahem lze rozdělit podle několika kritérií, určující jsou cykly namáhání a osy ve kterých je těleso namáháno.

1. Způsoby tahové deformace podle cyklů

a) Deformace v polovině cyklu

Textilie je namáhána do destrukce (přetrhu). Touto zkouškou lze zjistit ultimativní charakteristiky mechanicko-fyzikálních vlastností textilie.

b) Deformaci v celém cyklu

Textilie je po určitou dobu zatížena (působí na ni síla) a následně relaxuje.

c) Deformaci ve více cyklech (tzv. cyklické namáhání)

Textilie se v pravidelných intervalech zatěžuje a odlehčuje. Vstřebává tak určitou energii, odpovídající hysterézní ploše mezi křivkami pro zatížení a relaxaci. Tím se mění její struktura a vlastnosti, dochází k jevu označovanému jako únava textilie, nakonec dochází k destrukci textilie.

2. Způsoby tahové deformace podle os namáhání

a) Jednoosé namáhání

Textilie je namáhána v jedné ose, nejčastěji po osnově nebo po útku. Pitucha se ve své práci [17] zabývá anizotropií tahových deformací, kdy namáhá textílii v jedné ose, ovšem pod různými úhly od osnovy a útku.

b) Dvouosé namáhání

Realizace takového měření je obtížnější, má simulovat namáhání textilie kolenem, loktem apod.

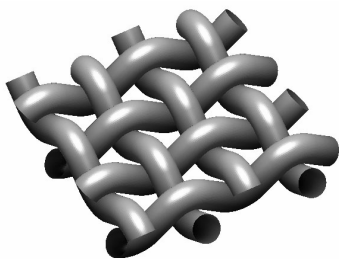
Používá se zařízení s „vícebodovým“ upnutím pro textílii (čelisti schopné měnit svoji upínací šířku) nebo se z textilie vystříhne vzorek ve tvaru kříže, u kterého je měřená plocha vzdálená od upínacích čelistí natolik, že jejich tuhost neovlivňuje výsledky.

4.2 Jednoosá deformace tahem

S ohledem na zadání této práce je určující ultimativní jednoosé namáhání v tahu v hlavních osách tkaniny.

Deformaci tělesa lze sledovat pomocí pracovní křivky. Textilie (příže, tkaniny, pleteniny, atd.) jsou počítána mezi visko-elastická tělesa a mají svá specifika ve struktuře, která se projeví i ve tvaru tahové křivky. Popis reálných visko-elastických těles lze vyjádřit pomocí modelů, v principu existují 3 rozdílné přístupy: popis pomocí integrálního počtu, lineární diferenciální rovnice s aplikací reologických modelů a symbolický popis pomocí komplexních čísel. Nejčastěji užívané jsou reologické modely (Maxwellův, Kelvinův-Voigtův, standardní, aj.), které přibližně popisují (modelují) chování reálných materiálů. Mezi jejich základní prvky patří ideální pružina a newtonovský viskózní element. Popisem se zabývá Košková [21].

Při deformaci tkaniny se uplatňuje více deformačních mechanismů – změna zvlnění, protažení DT, deformace tvaru a plochy průřezu nití ve vazném bodě a změna úhlu mezi nitěmi. Model při natažení tkaniny na mez pevnosti předpokládá, že dojde k úplnému napřímení nití dané namáhané soustavy a kolmá soustava se více navlní (viz. Obr. 4.1).



4.1a) Tkanina v relaxovaném stavu



4.1b) tkanina při namáhání jedné soustavy

Obr. 4.1 Provázání tkaniny

4.2.1 Charakteristiky tahové deformace pro textilie

Mechanické vlastnosti materiálů lze popsat tzv. ultimativními charakteristikami:

➤ **Napětí v přetrhu σ** lze vypočítat jako podíl působící *absolutní deformační síly* F v okamžiku přetrhu ku *ploše* S , na kterou síla působí, rozložení síly musí být konstantní a platí

$$\sigma = \frac{F}{S}. \quad (4.1)$$

Plocha S délkových textilních materiálů (vlákna, příze, multifil, aj.) je obtížně vyjádřitelná, určuje se tedy **poměrná pevnost** f délkové textilie

$$f = \frac{F}{T}. \quad (4.2)$$

Napětí může být pomocí úpravy vztahů (2.1) a (4.2) vyjádřeno

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{T/\rho}. \quad (4.3)$$

➤ **Pevnost** P (také uváděné někdy F) vyjadřuje množství síly potřebné k porušení textilie jednotkové šířky.

Podle Solověva se dá pro výpočet *poměrné pevnosti* P_p příze užít empirický vztah

$$P_p = P_v f_n f_l f_\alpha \eta. \quad (4.4)$$

P_v je poměrná *pevnost vlákn*a, f_n charakterizuje vliv *jemnosti* DT, vláken a *počtu vláken* v příčném řezu DT. f_l zahrnuje vliv *délky vláken* a jejich nestejnoměrnosti v délce, f_α vyjadřuje vliv koeficientu zákrutu, η charakterizuje vliv technologie zpracování.

Pevnost soustavy (osnovy nebo útku) je možno podle Kováře [1] vypočítat jako

$$P_{TKo,u} = D_{o,u} P_{DTo,u} K_{VP}, \quad (4.5)$$

P_{DT} je *relativní pevnost* délkových textilií, K_{VP} je *koeficientem využití pevnosti*, $D_{o,u}$ dostava.

Pro lepší zohlednění parametrů majících vliv na konečnou pevnost soustavy byl Kolčavovou Sirkovou [16] vztah (4.4) upraven na

$$P_{o,u} = P_{DTo,u} T_{DTo,u} D_{o,u} k_{o,u} \frac{1}{2}, \quad (4.6)$$

je zahrnuta i *jemnost* T délkových textilií. Zatím se pro hodnoty $k_{o,u}$ užívá $k_o=1,1$ a $k_u=1$.

➤ **Tažnost** ε je procentuelně vyjádřené *relativní prodloužení* l v prvním okamžiku porušení textilie. Výsledná *tažnost* odpovídá *tažnosti „nejslabšího“* místa, závisí na působící *síle* F a lze ho vypočítat jako

$$\varepsilon = \frac{l_p - l_0}{l_0} * 10^2, \quad (4.7)$$

kde l_p je *délka* textilie *při přetrhu* a l_0 je *původní délka* textilie bez vloženého napětí.

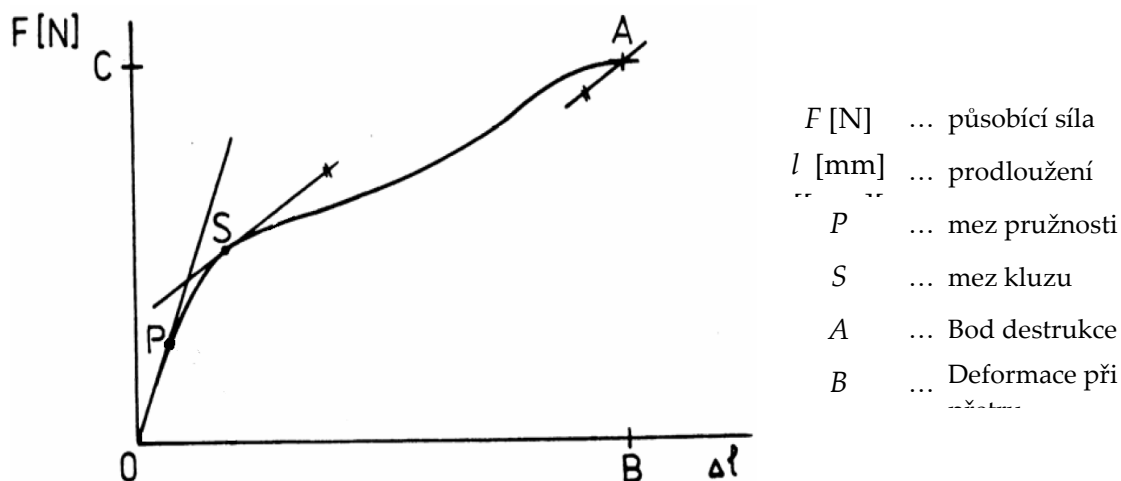
Pro výpočet *tažnosti* tkaniny uvádí Kolčavová Sirková [16] upravený vztah o konstantu k_T , která zahrnuje vliv materiálu a vazby.

$$\varepsilon_{TKo,u} = k_T \left[\frac{(1 + \varepsilon_{Po,u})}{\left(1 + \frac{s_{o,u}}{100}\right)} - 1 \right] \quad (4.8)$$

Hodnoty koeficientů se užívají pro $k_{To}=1$ a $k_{Tu}=2$.

4.2.2 Rozbor deformační – pracovní křivky

V grafu na Obr. 4.2 je vyobrazena charakteristická deformační křivka DT – příže. Vystihuje závislost působící síly F na prodloužení l .



Obr. 4.2 Deformační – pracovní křivka

Do bodu P na křivce je normálové napětí přímo úměrné relativnímu prodloužení, Oblast křivky je lineární a platí zde Hookův zákon. Deformace tělesa je pružná (elastická), těleso se po působení síly „vrátí“ zpátky.

V bodě P dosáhne normálové napětí nejvyšší hodnoty takové, při které je deformace ještě pružná. Po překročení této meze je deformace tělesa plastická.

Bod A určuje pevnost v tahu, je dosaženo největší možné síly F a protažení l . Dochází k porušení soudržnosti namáhaného materiálu a k jeho definitivní destrukci - přetrhne se, rozdrť se.

Plocha pod křivkou udává *deformační práci* spotřebovanou až do přetržení materiálu, je mírou houževnatosti materiálu. Čím je křivka strmější, tím větší má materiál odpor proti deformaci.

Výslednou tahovou křivku při namáhání délkové textilie ovlivňuje sklon vláken k ose délkové textilie, tahová síla ve vláknech, upínací délka (čím delší je, tím pravděpodobnější je přetrh, to je způsobeno nestejnoměrností DT).

III. Experimentální část

5 Experiment

Experimenty, popsané v této kapitole, jsou zaměřeny na zjišťování základních parametrů a mechanicko-fyzikálních charakteristik tkanin z multifilů. Mezi zjišťované základní charakteristiky patří vazba, jemnost multifilů, zákrut multifilů, dostava, setkání a plošná hmotnost tkanin. Pro stanovení setkání byla použita metoda, která není normovaná, a pomocí takto zjištěného setkání byla následně vypočtena plošná hmotnost. Mohly být tedy porovnány tři typy plošné hmotnosti – jmenovité (udané výrobcem), získané experimentem (naměřené) a predikované z experimentálně ověřených parametrů.

Byly zjišťovány ultimativní charakteristiky tkanin při jednoosém tahovém namáhání. Pro určení vlivu mechanicko-fyzikálních vlastností DT na mechanicko-fyzikální vlastnosti z nich vyrobených tkanin byly zjišťovány ultimativní charakteristiky tahového namáhání i pro délkové textilie. Následně byly tyto charakteristiky mezi sebou porovnávány.

5.1 Popis vzorků

5.1.1 Materiál použitý na výrobu multifilů

U všech typů tkanin jsou v osnově i útku použity multifily vyrobené z polyesteru (PL).

Polyesterová vlákna se vyznačují dobrými mechanickými vlastnostmi, odolností v oděru, textilie z nich vyrobené jsou málo mačkové. Mezi jejich negativní vlastnosti patří nízká navlhavost, obtížná barvitelnost, vytváření elektrostatického náboje, špinavost a vysoká žmolkovitost. PL jsou stálá do

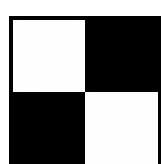
teploty 150°C, odolná proti působení většiny minerálních kyselin, slabých alkálií, redukčních a oxidačních činidel. Špatně odolávají zředěným kyselinám, kyselina sírová způsobuje jejich rozklad a ve styku s alkáliemi dochází k hydrolýze. Základní charakteristiky polyesteru jsou uvedeny v *Tab. 1.* [24]

Tab. 1 Přehled základních parametrů polyesteru

Hustota	ρ	1360~1380kg/m ³
Teplota zesklňování	T_g	70 ~110°C
Teplota měknutí	T_m	230°C
Teplota tání	T_t	258°C
Pevnost	P	3,8 – 7,2 cN/dtex
Tažnost	ε	50-70%

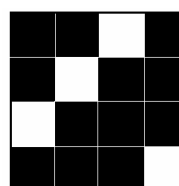
5.1.2 Základní charakteristiky tkanin

Byly zkoumány dvě sady tkanin vyrobené z multifilů, první sada tkanin byla v plátnové vazbě, druhá sada tkanin ve vazbě keprové (*Obr. 5.1*), obě sady byly navíc k dispozici v režném a obarveném stavu. V každé sadě byly tři typy tkanin lišící se *jemností T* použitých multifilů a *počtem fibril* (monofilů) v multifilech viz. *Tab. 2.* I když jsou tyto parametry různé, *dostavy D* osnovy jsou u režného plátna a režného kepru shodné, totéž platí i o útku. Obarvené tkaniny prokazují stejné trendy.



$$P \frac{1}{1}$$

5.1 a) Plátnová vazba



$$K \frac{3}{1}$$

5.1 b) Keprová vazba

Obr. 5.1 Vazby tkanin

U všech typů tkanin byl v osnově použit multifil hladký opatřený zákrutem, v útku multifil jen s ochranným zákrutem, ale navíc kadeřený.

Je tedy zřejmé, že pro tkaniny v jedné vazbě, i přes shodné parametry dostav, bude prostorová geometrie - struktura díky různým parametrům multifilů odlišná.

Tab. 2 Přehled parametrů tkanin udaných výrobcem

vazba tkaniny		PLÁTNO						KEPR					
označení tkaniny		103A		103B		103C		102A		102B		102C	
směr osnova/útek		os	út	os	út	os	út	os	út	os	út	os	Út
T multifilu [tex]		7,8	11,0	7,8	16,7	7,8	33,4	7,8	11,0	7,8	16,7	7,8	33,4
počet fibril		24	36	24	36	24	72	24	36	24	36	24	72
D [1/cm]	Režná	41,5	24	41,5	24	41,5	24	41,5	24	41,5	24	41,5	24
	Upravená	45,5	25	45,5	25	45,5	25	45,5	25	45,5	25	45,5	25
s [%]	Režná	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Upravená	6	-	6	-	6	-	5	-	5	-	5	-
G [g/m ²]	Režná	64		82		118		64		82		118	
	Upravená	66		83		120		68		84		123	

5.2 Experimentálně stanovené geometrické parametry tkanin

5.2.1 Jemnost multifilů

Jemnost multifilů byla zjišťována podle ČSN ISO 2060 (80 0702) gravimetrickou metodou. Bylo naváženo 100m multifilu, při znalosti délky a hmotnosti se vypočítala jemnost podle vztahu (2.1). Celkem byly čtyři typy multifilů (podle jemnosti), každý typ multifilu byl proměřen pětkrát, hodnocení bylo provedeno analýzou malých výběrů. Výsledné hodnoty jsou uvedeny Tab. 3.

Tab. 3 Hodnoty jemností multifilů

vazba tkaniny		PLÁTNO / KEPR					
označení tkaniny		102/103A		102/103B		102/103C	
směr osnova/útek		os	út	os	út	os	út
jmenovitá T [tex]		7,8	11,0	7,8	16,7	7,8	33,4
naměřená T [tex]	$\bar{x}$	8,34	11,37	8,34	18,03	8,34	33,65
	IS 95%	<8,19 ; 8,49>	<11,34 ; 11,39>	<8,19 ; 8,49>	<17,98 ; 18,08>	<8,19 ; 8,49>	<33,62 ; 33,67>

5.2.1.1 Diskuze

Naměřené hodnoty jsou v převážné míře vyšší, než hodnoty udávané výrobcem. V dalších výpočtech (plošná hmotnost, pevnost, atd.) byly používány naměřené hodnoty.

5.2.2 Zákrut multifilů

Zákruty byly zjišťovány dle normy ČSN EN ISO 2061. Upínací délka multifilů v čelistech zákrutoměru byla 0,25m. Otáčky potřebné k rozkroucení multifilů byly zaznamenávány na počítadle. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4 Hodnoty experimentálně zjištěných zákrutů

vazba tkaniny		PLÁTNO / KEPR			
jemnost T [tex]		8,34	11,37	18,03	33,65
počet zákrutů [1/m]	$\bar{x}$	339	14	7	3
	IS 95%	<332,87 ; 345,13>	<12,26 ; 14,95>	<5,30 ; 8,70>	<2,00 ; 4,00>

5.2.2.1 Diskuze

Experimentem bylo potvrzeno, že multifily použité v osnově mají zákruty, kdežto multifily v útku mají zákruty pouze ochané.

5.2.3 Dostava tkaniny

Dostava byla zjišťována podle ČSN 1049-2 (800814) pro všechny typy tkanin (12 typů tkanin). Z tkanin byly stříhány vzorky o rozměrech 200x200mm diagonálně po niti. Každý vzorek byl měřen 10x po osnově a 10x po útku pomocí obrazové analýzy. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5.

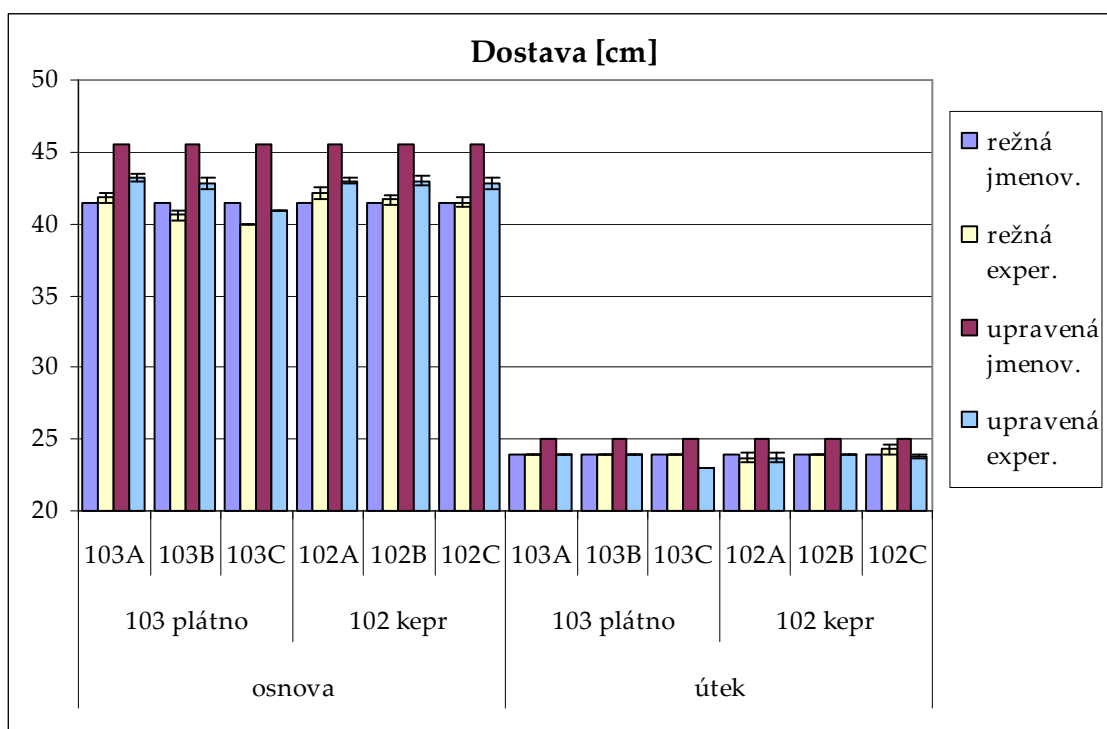
Tab. 5 Experimentálně zjištěné hodnoty dostavy

soustava tkaniny			osnova					
vazba tkaniny			plátno			kepr		
typ tkaniny			103A	103B	103C	102A	102B	102C
Dostava [1 /cm]	režná	$\bar{x}$	41,8	40,6	40,0	42,1	41,7	41,5
		IS 95%	<41,49; 42,11>	<40,20; 41,00>	<40,0>*	<41,73; 42,47>	<41,41; 42,00>	<41,10; 41,90>
	upravená	$\bar{x}$	43,2	42,8	40,9	43,0	43,0	42,8
		IS 95%	<42,97; 43,73>	<42,29; 43,31>	<40,60; 41,20>	<42,79; 43,21>	<42,70; 43,30>	<42,51; 43,09>
soustava tkaniny			útek					
vazba tkaniny			plátno			kepr		
typ tkaniny			103A	103B	103C	102A	102B	102C
Dostava [1 /cm]	režná	$\bar{x}$	24,0	24,0	24,0	23,7	24,0	24,3
		IS 95%	<24,0>*	<24,0>*	<24,0>*	<23,30; 24,10>	<24,0>*	<24,03; 24,87>
	upravená	$\bar{x}$	24,0	24,0	23,0	23,7	24,0	23,8
		IS 95%	<24,0>*	<24,0>*	<23,0>*	<23,41; 23,99>	<24,0>*	<23,69; 23,91>

* U těchto hodnot vyšla směr. odchylka rovna 0, IS je v jednom bodě.

5.2.3.1 Diskuze

Dostava je výrobcem udávána na 1cm, proto i hodnoty v tabulce jsou uvedeny na 1cm. Experimentálně zjištěné hodnoty byly statisticky zpracovány, nehomogenní data vyřazena. Výsledné rozdíly mezi dostavami jmenovitými (udanými výrobcem) a experimentálně naměřenými jsou uvedeny v grafu na Obr. 5.2.



Obr. 5.2 Porovnání hodnot dostav jmenovitých a experimentálních

Z grafu vyplývá, že hodnoty výrobce jsou v některých případech nadhodnocené, zvláště u tkanin obarvených. Důvodem může být povolení tkaniny při relaxaci, to mohlo být způsobeno právě zkadeřením multifilů. Odpovídalo by to představě, že v útku použité kadeřené hedvábí jen s ochranným zákrutem má schopnost se povolit a natáhnout, tudíž se osnovní multifily od sebe oddálí. Neopomenutelný bude i vliv vazby.

5.2.4 Setkání tkaniny

Pro zjištění setkání byla použita necertifikovaná metoda napínání délkové textilie vypárané z tkaniny na trhacím přístroji. Pomocí výsledné tahové křivky se určilo okamžité protažení v momentě, kdy se začala tahová křivka DT zvedat – růst (počáteční šum je opomenut), a následně bylo z okamžitého protažení vypočítáno setkání.

Měření probíhalo na univerzálním trhacím zařízení Testometric CT 5 (viz. Příloha 1). Nejprve bylo nutné nastavit vhodné parametry přístroje pro měření a otestovat toto nastavení na zkušební vzorku. Byly použity vláknové

upínací čelisti, upínací délka byla 500mm (čili délka multifilů naznačená na tkanině).

Na tkaninu byla ve směru osnovy i útku naznačena délka 500mm a na každou stranu přesah 100mm pro upnutí do čelistí (celková délka vzorků byla tedy 700mm). Tkanina se v místech označení celkové délky nastříhla, aby bylo možné odebírat jednotlivé multifily pomocí párací jehličky. Jednotlivé multifily byly následně upevněny do čelistí trhačního přístroje tak, aby byla dodržena označená upínací délka 500mm, a následně byla provedena zkouška tahem. Od každého typu tkaniny bylo proměřováno 30 multifilů po osnově a 30 multifilů po útku. Celkem bylo tedy proměřováno 720 multifilů.

Multifily byly namáhány na maximální sílu 100N (ne do přetrhu) bez předpětí. Rychlost zkoušky byla pro osnovu 150mm/min a pro útek 100mm/min (stanoveno na základě předchozí zkoušky zkušební vzorku). Experiment probíhal v klimatizované místnosti.

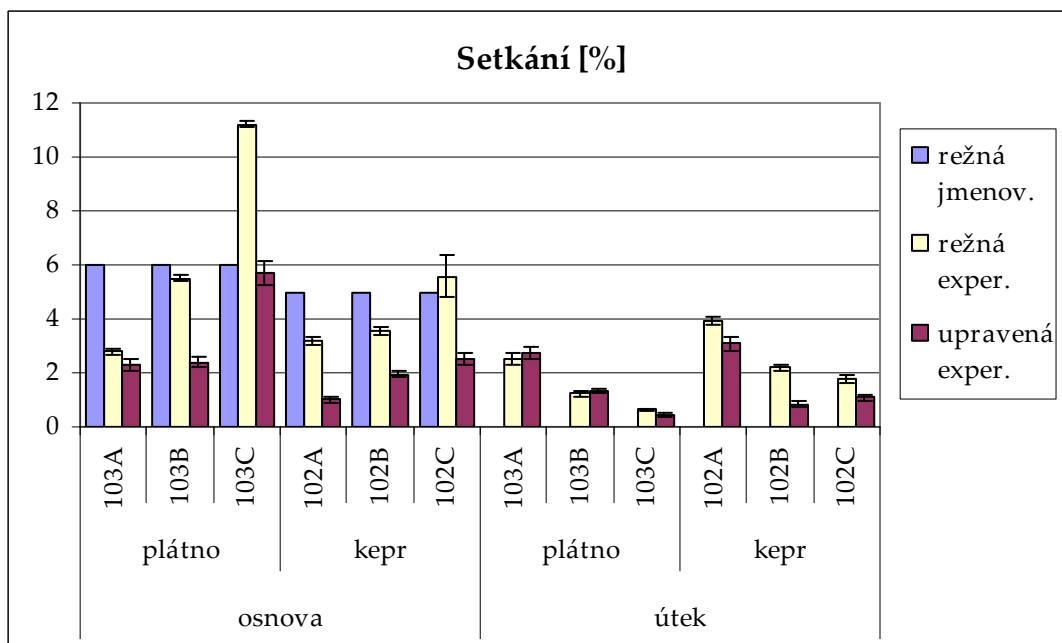
Z grafů pracovních křivek (uvedeny v příloze) byly odečítány hodnoty okamžitého protažení při nárůstu síly z hodnoty 0 na 0,025N. Tato síla odpovídala okamžiku na tahové křivce, kdy křivka začínala stoupat – „odlepila se“ od osy x . Následně bylo provedeno statistické vyhodnocení. Výsledné setkání $s_{0,u}$ (viz. Tab. 6) bylo stanoveno dle vztahu (3.1), s použitím okamžitého protažení.

Tab. 6 Hodnoty experimentálně zjištěného setkání

soustava tkaniny			osnova					
vazba tkaniny			plátno			kepr		
typ tkaniny			103A	103B	103C	102A	102B	102C
Setkání [%]	režná	$\bar{x}$	2,59	5,16	10,68	3,03	3,37	6,00
		IS 95%	<2,47; 2,72>	<5,06; 5,26>	<10,54; 10,83>	<2,90; 3,17>	<3,21; 3,53>	<5,87; 6,12>
	upravená	$\bar{x}$	2,08	1,89	4,73	0,93	1,74	2,24
		IS 95%	<1,95; 2,20>	<1,72; 2,06>	<4,54; 4,91>	<0,82; 1,04>	<1,61; 1,87>	<2,11; 2,36>
soustava tkaniny			útek					
vazba tkaniny			plátno			kepr		
typ tkaniny			103A	103B	103C	102A	102B	102C
Setkání [%]	režná	$\bar{x}$	1,83	0,89	0,39	3,01	1,46	1,20
		IS 95%	<1,74; 1,93>	<0,78; 1,01>	<0,35; 0,42>	<2,88; 3,14>	<1,39; 1,53>	<1,15; 1,25>
	upravená	$\bar{x}$	2,08	1,02	0,33	2,30	0,63	0,92
		IS 95%	<1,98; 2,18>	<0,95; 1,10>	<0,25; 0,40>	<2,20; 2,41>	<0,55; 0,70>	<0,86; 0,99>

5.2.4.1 Diskuze

Metodika určování setkání je obecně diskutabilní. Většinou je DT vypáraná z tkaniny napínaná ručně. Tato dosud nenormovaná metoda chybu vzniklou intuitivním napínáním vzorku eliminuje. Lze konstatovat, že při tomto typu zkoušky závisí na subjektivním posouzení fyzické osoby (laboranta - zpracovatele dat), kdy křivka začne stoupat (při jaké síle začne růst – „odlepi se“ od osy x). Další otázkou je, zda je určení hranice nárůstu síly na 0,025N optimální. Porovnání hodnot jmenovitých s experimentálně zjištěnými je uvedeno v grafu na Obr. 5.3.



Obr. 5.3 Porovnání hodnot setkání jmenovitých a experimentálních

Výsledné hodnoty setkání lze porovnávat z několika hledisek:

a) Srovnání se jmenovitými hodnotami

Výrobce udává setkání pouze pro upravené tkaniny pro osnovu a to 6%, což s naměřenými hodnotami naprosto nekoresponduje. Setkání útku výrobce neudává vůbec.

b) Porovnání hodnot setkání pro plátno

Jmenovitá dostava osnovy je konstantní, dostava útku též, tkaniny se liší rostoucí jemností (rostoucím substančním průměrem) útku.

- Setkání osnovy s rostoucí jemností útku roste pro režnou i upravenou tkaninu, hodnoty setkání v režné tkanině jsou téměř dvojnásobné.
- Setkání útku s rostoucí jemností („hrubostí“) útku klesá pro režnou i upravenou tkaninu. Hodnoty setkání jsou pro režné i upravené tkaniny srovnatelné.

Lze konstatovat, že tato skutečnost je v logickém souladu, s větším průměrem útku se musí osnova více vlnit (osnova tkaniny obtáčí útek více).

c) Porovnání hodnot setkání pro kepr

- Trendy chování osnovy i útku se pro režné i upravené tkaniny shodují s trendy pro plátno (viz bod b).

d) Porovnání hodnot setkání pro plátno a kepr

- Setkání plátna je vždy vyšší než u kepru, pro režné i upravené tkaniny, což je v souladu s poznatky o základních vazbách.

5.2.5 Plošná hmotnost tkaniny

Plošná hmotnost byla zjišťována dvěma způsoby:

1. Plošná hmotnost multifilových tkanin stanovená vážením vzorků

Měření plošné hmotnosti probíhalo v souladu s normou ČSN EN 12127 (800845), v klimatizované místnosti. Z předložených tkanin byly připraveny vzorky o rozměrech 100x100 mm. Jednotlivé vzorky byly stříhány diagonálně po tkanině, následně se zvažily na laboratorních vahách (Scaltec SBC 41). Lze konstatovat, že metodika je poměrně pracná. Stříhání vzorků multifilových tkanin bylo obtížné, protože docházelo k posuvu nití a zešíklování vzorků během stříhání.

V Tab. 7 jsou uvedeny výsledky navážené plošné hmotnosti jednotlivých typů multifilových tkanin s konfidenčními intervaly.

2. Plošná hmotnost multifilových tkanin stanovená výpočtem

Pro výpočet plošné hmotnosti G byl použit vztah (3.2) uvedený v rešeršní části. Za jemnosti $T_{0,u}$ a dostavy $D_{0,u}$ osnovních a útkových multifilů byly dosazeny hodnoty experimentálně zjištěné. Setkání $s_{0,u}$ bylo vypočteno dle

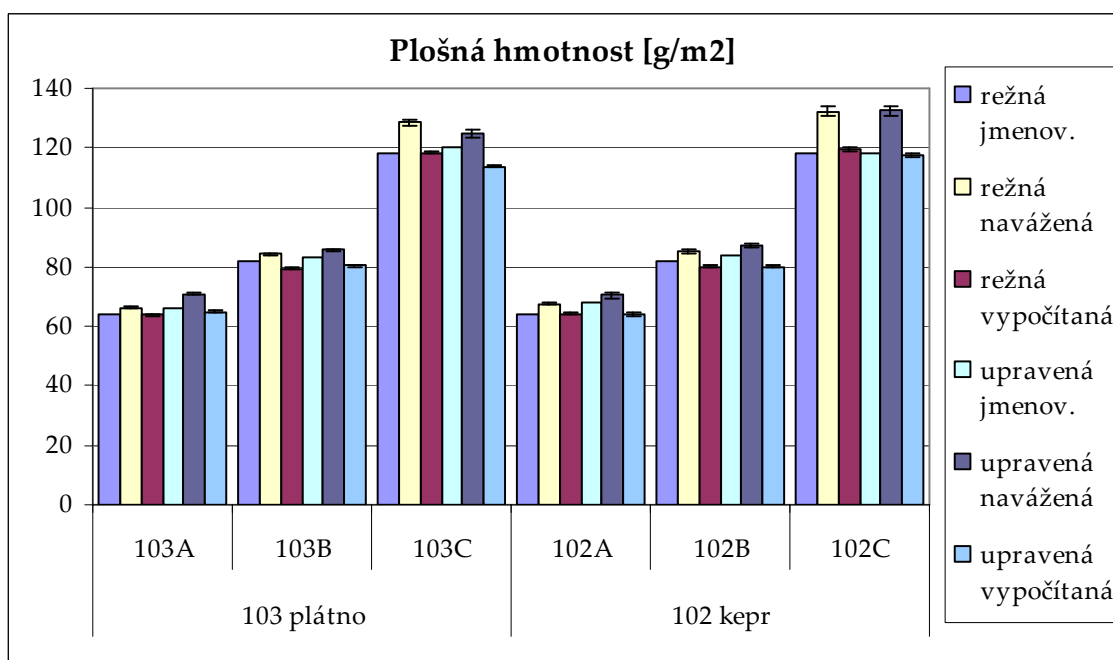
vztahu (3.1), dosazením protažení určeného z tahové křivky multifilů při tahové zkoušce, viz. Kap. 5.2.4.

Tab. 7 Hodnoty plošných hmotností

vazba tkaniny				plátno			kepr		
typ tkaniny				103A	103B	103C	102A	102B	102C
Plošná hmotnost [g/m ²]	režná	jmenovitá	$\bar{x}$	64,00	82,00	118,00	64,00	82,00	118,00
			$\bar{x}$	66,17	84,32	128,56	67,54	85,15	132,39
		navážená	IS 95%	<65,83; 66,50>	<83,96; 84,69>	<127,67; 129,45>	<67,10; 67,98>	<84,55; 85,75>	<130,43; 134,36>
			$\bar{x}$	63,55	79,26	118,00	63,93	79,85	119,44
		vypočítaná	IS 95%	<63,29; 63,81>	<78,96; 79,57>	<117,84; 118,15>	<63,51; 64,36>	<79,55; 80,15>	<119,05; 119,83>
			$\bar{x}$	66,00	83,00	120,00	68,00	84,00	118,00
	upravená	jmenovitá	$\bar{x}$	70,74	85,72	124,68	70,35	87,04	132,41
			IS 95%	<70,42; 71,06>	<85,45; 85,99>	<123,18; 126,17>	<69,07; 71,63>	<86,27; 87,81>	<130,75; 134,07>
		navážená	$\bar{x}$	64,63	80,08	113,37	63,76	80,03	117,32
			IS 95%	<64,38; 64,88>	<79,78; 80,39>	<113,22; 113,53>	<63,41; 64,12>	<79,73; 80,33>	<117,01; 117,63>
		vypočítaná	$\bar{x}$	64,63	80,08	113,37	63,76	80,03	117,32
			IS 95%	<64,38; 64,88>	<79,78; 80,39>	<113,22; 113,53>	<63,41; 64,12>	<79,73; 80,33>	<117,01; 117,63>

5.2.5.1 Diskuze

Vztah na výpočet plošné hmotnosti byl stanoven na základě experimentů s tkaninami ze staplových přízí. Lze tedy předpokládat, že pro určení plošné hmotnosti multifilů nebude vztah vyhovující (vliv setkání, zkadeření). Porovnání jednotlivých hodnot plošných hmotností je uvedeno v grafu na Obr. 5.3.



Obr. 5.4 Porovnání hodnot plošných hmotností

Výsledné hodnoty plošné hmotnosti lze porovnávat z několika hledisek:

a) Porovnání hodnot plošné hmotnosti určené vážením vzorků

Tkaniny se liší zvyšujícím se počtem fibril u útkových multifilů a nárůstem jejich jemnosti.

- Hodnoty plošné hmotnosti pro plátno i kepr jsou v rámci jednoho typu tkaniny (A, B, C) pro reznou i obarvenou variantu na stejné úrovni. Ovšem mezi jednotlivými typy tkanin je patrný velký rozdíl. Lze předpovídat, že na tyto trendy mají vliv útkové multifily, které se zvyšujícím počtem fibril mají i zvyšující se hodnoty délkové hmotnosti (jemnosti), a tím výrazně ovlivňují celkovou plošnou hmotnost.
- Rozdíly hodnot u rezných a obarvených tkanin v rámci jednoho typu tkaniny mohly být způsobeny vlivem zvýšení dostavy (především v osnově).
- Tyto trendy jsou stejné pro všechny způsoby zjištění plošné hmotnosti.

b) Porovnání hodnot plošných hmotností jmenovitých s naváženými a vypočtenými

- Jmenovité hodnoty (udané výrobcem) jsou pro tkaniny režné i upravené oproti naváženým nižší, oproti vypočteným vykazují lepší shodu.
- U tkanin obarvených jsou hodnoty plošných hmotností vypočítaných u pláten i keprů znatelně menší než hodnoty jmenovité. To mohlo být způsobeno vlivem obarvení (úpravy), kdy došlo ke změně vnitřní struktury tkaniny- dostavy, setkání, aj.

c) Porovnání hodnot plošných hmotností navážených s vypočítanými

- Nejvýraznější rozdíl je mezi hodnotami plošných hmotností získaných vážením a hodnotami vypočítanými (z experimentálně získaných hodnot dostav, jemností a setkání). Toto platí pro tkaniny v plátnové i keprové vazbě, režné i obarvené. Zásadní vliv má určitě dostava, ale především hodnoty setkání vypočítaného z protažení, které se zdají být podhodnocené.

Využití metody natažení DT pomocí trhacího přístroje pro určení setkání lze v praxi použít. Sporné je jen zvolení, při jakém nárůstu síly se má odečíst okamžité protažení z pracovních grafů, potvrdila se teze, že zvolení správné okamžité síly je klíčovým hlediskem. Bylo by tedy třeba provést více měření a na jejich základě vztah po výpočet plošné hmotnosti pro multifilové tkaniny upravit o odpovídající konstantu

5.3 Stanovení mechanicko-fyzikálních vlastností

Pro stanovení ultimativních charakteristik mechanicko-fyzikálních vlastností bylo použito jednoosého nahání v tahu na přístroji Testometric CT5 (viz. Příloha 1). Přístroj je vybaven dvěma čelistmi, do kterých se zkoušený element (příze, multifil, tkanina, aj.) upne. Spodní čelist je pevná (nepohyblivá), druhá horní čelist se pohybuje konstantní rychlostí po celou dobu zkoušky. Trhací přístroj je napojen na software, který zaznamenává jednotlivá data a vyhodnocuje je. Výstupem je protokol s uvedenými údaji o zkoušce (ultimativními charakteristikami – prodloužení při přetrhu, síla při přetrhu, tažnost při nejvyšší pevnosti, nejvyšší pevnost, aj.). Zároveň jsou v protokolu vyobrazeny všechny průběhy pracovních deformačních křivek. Průběhy jednotlivých křivek (data) je možno ukládat do samostatných souborů a díky tomu lze křivky a údaje o nich kdykoli opět „vyvolat“.

5.3.1 Tahová zkouška multifilů

Cílem tahových zkoušek multifilů bylo určení jejich mechanických vlastností, které dále ovlivňují tahové vlastnosti tkaniny.

Měřené multifily byly výrobcem dodány pouze v režném stavu jako náviny na cívkách. Tahová zkouška proběhla v souladu s normou ČSN EN ISO 2062 (80 0700), v klimatizované místnosti. Byla použita upínací délka 500mm bez předpětí, rychlost deformace byla 200mm/min (u automatických trhaček dovoluje norma tuto odchylku) a použila se hlava 5N. Bylo proměřeno 50 vzorků pro každý typ multifilu (čtyři typy odlišné jemností a počtem zákrutů). Zjištěné výsledné hodnoty pevnosti a tažnosti multifilů jsou uvedeny v *Tab. 8*.

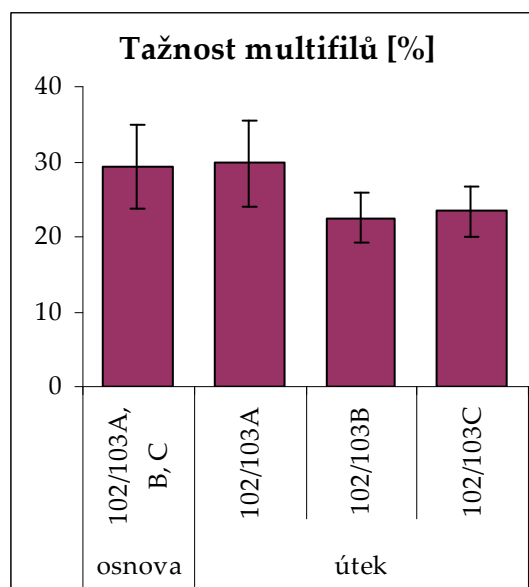
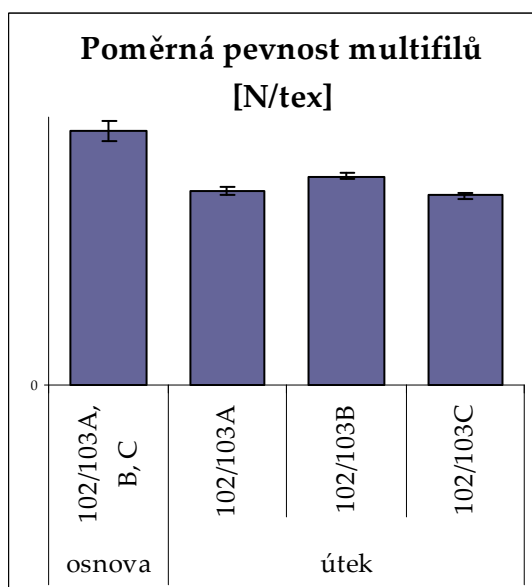
Tab. 8 Hodnoty pevností a tažností multifilů

soustava tkaniny		osnova	útek		
typ tkaniny		102/103A, B, C	102/103A	102/103B	102/103C
jemnost exper. [tex]		8,34	11,37	18,03	33,65
Pevnost [N]	$\bar{x}$	3,56	3,69	6,32	10,68
	IS 95%	<3,41; 3,70>	<3,62; 3,76>	<6,24; 6,40>	<10,55; 10,81>

soustava tkaniny		osnova	útek		
typ tkaniny		102/103A, B, C	102/103A	102/103B	102/103C
jemnost exper. [tex]		8,34	11,37	18,03	33,65
Tažnost [%]	$\bar{x}$	29,3088	29,8176	22,5241	23,34426
	IS 95%	<23,80; 34,82>	<24,09; 35,54>	<19,16; 25,89>	<19,91; 26,78>

5.3.1.1 Diskuze – pevnost a tažnost multifilů

Hodnoty pevností multifilů rostou s rostoucí jemností (viz. Tab. 8), ovšem při přepočtu na poměrnou pevnost (podle vztahu 4.2) byly zjištěny rozdíly (viz. Obr. 5.5a).



Obr. 5.5a) Poměrná pevnost multifilů

Obr. 5.5b) Tažnost multifilů

Obr. 5.5 Ultimatívní charakteristiky multifilů

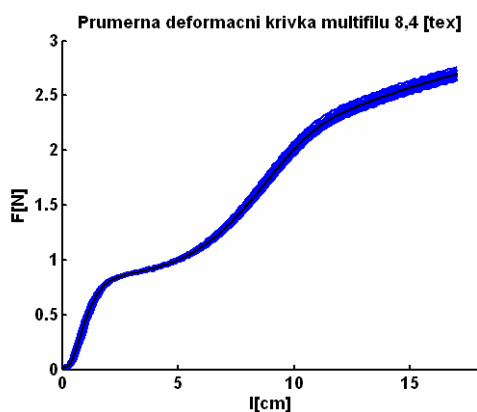
Rozdíly mohou být vysvětleny následujícími vlivy:

- Výrazně vyšší hodnoty dosahuje multifil použitý v osnově, který je opatřen zákrutem.
- U multifilů použitých v útku je stejná poměrná pevnost pro nejjemnější a nejhrubší multifil, hodnoty prostřední jemnosti multifilu jsou poněkud vyšší. Bylo měřeno 50 hodnot, proto nejde o chybu malého počtu měření ale patrně o vliv rozdílného počtu fibril (viz. *Tab. 2*), kdy je poměr - počet fibril/jemnost pro tento multifil nejmenší.

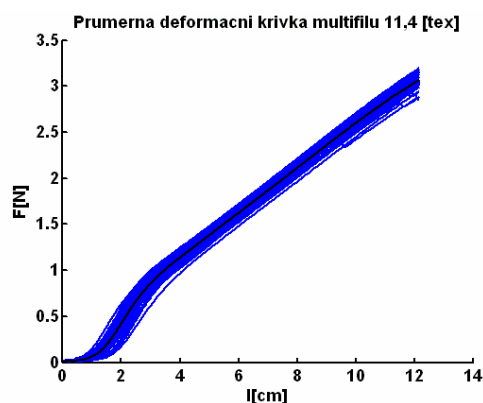
Tažnosti multifilů (*Obr. 5.5b*) jsou s ohledem na 95% interval spolehlivosti shodné, i když se liší jemností, a navíc osnova je hladká opatřená zákrutem, zatímco útek je kadeřený s pouhým ochranným zákrutem.

5.3.1.2 Diskuze – tahové pracovní křivky multifilů

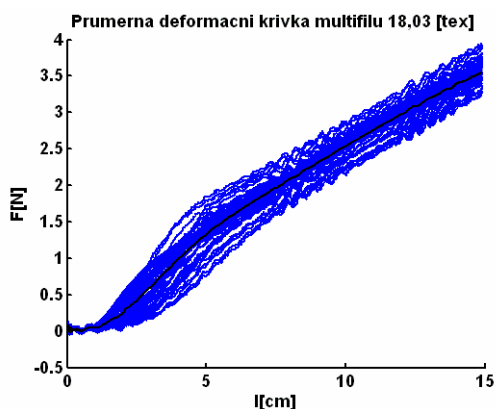
Tahové pracovní křivky pro osnovu mají charakteristický esovitý průběh (viz. graf na *Obr. 5.6a*).



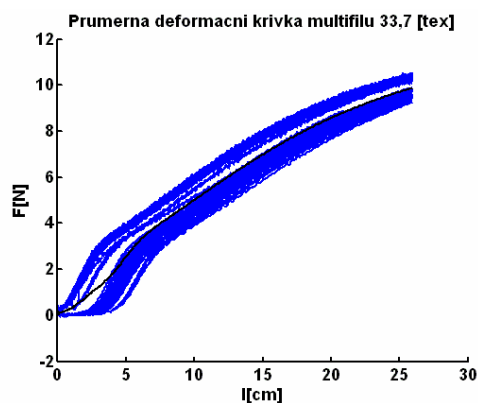
5.6 a) osnovní multifil 8,4 [tex]



5.6 b) útkový multifil 11,4 [tex]



5.6 c) útkový multifil 18,3 [tex]



5.6 d) útkový multifil 33,7 [tex]

Obr. 5.6 Deformační křivky použitých multifilů

Z grafu na Obr. 5.6a) je patrné, že multifil hladkého opatřeného zákrutem dochází s rostoucím oddálením čelistí trhačky k napínání a okamžitému silovému namáhání vláken. Ovšem v jistém okamžiku muselo nejspíše dojít k změně vnitřní struktury, protože křivka přestala vykazovat trend linearitu (multifil se na jistou dobu plně poddal působící síle, jen se prodlužoval a nekládl odpor), poté začal odpor opět klást.

Útkové multifily kadeřené s ochranným zákrutem po jistou dobu (do určitého protažení) neprokazují žádný přenos síly (grafy na Obr. 5.6 b), c), d). To je patrně způsobeno vyrovnáváním zkadeření.

Z grafů byly odečteny orientační hodnoty protažení v prvním okamžiku přenosu síly a vypočteno odpovídající relativní prodloužení, které je uvedeno v Tab. 9.

Tab. 9 Hodnoty pevností a tažností multifilů

soustava tkaniny		osnova	útek		
typ tkaniny		102/103A, B, C	102/103A	102/103B	102/103C
jemnost exper. [tex]		8,34	11,37	18,03	33,65
Relativní prodloužení [%]	$\bar{x}$	0	0,1	0,125	0,1

Zatímco hladký multifil se zákrutem začal okamžitě vykazovat vliv namáhání, kadeřené multifily se po určitou dobu vyrovnávaly (zkadeřené úseky se narovnaly). Pokud by se vztáhla jemnost multifilů na počet fibril, hodnoty útku nejjemnějšího a nejhrubšího vyjdou stejné, podobný trend je možno pozorovat u relativního prodloužení.

5.3.2 Tahová zkouška tkaniny

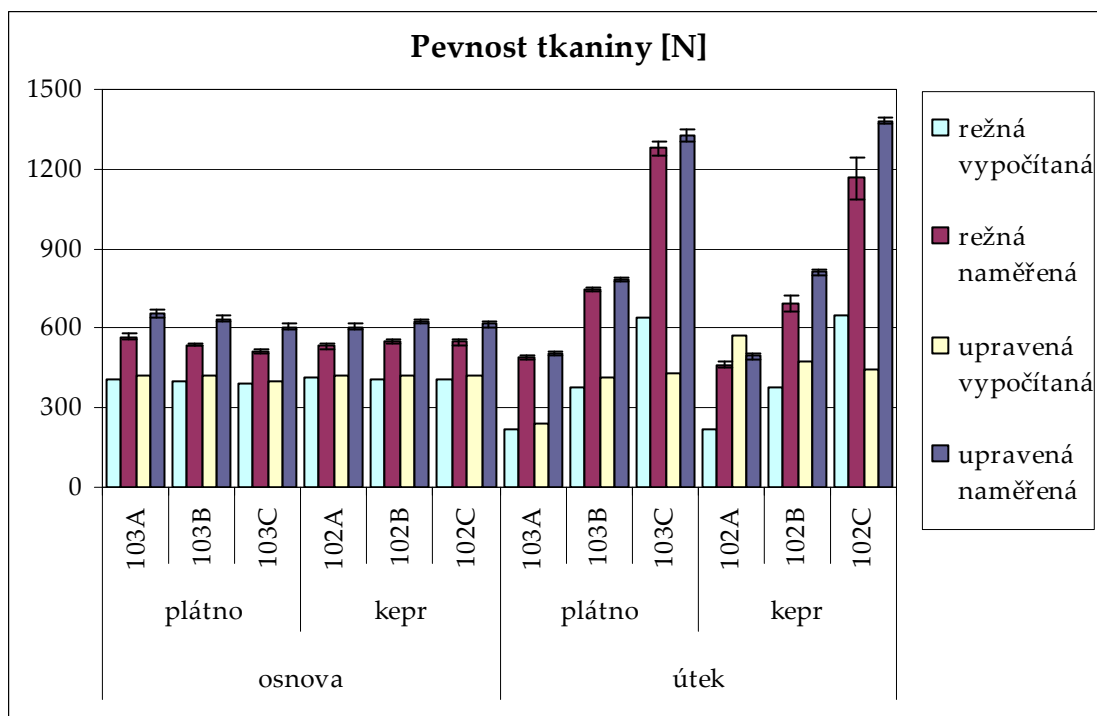
Tahová zkouška tkanin probíhala ve shodě s normou ČSN EN ISO 13934-1 (80 0812), zkušební laboratoř byla plně klimatizovaná. Norma udává minimální počet vzorků alespoň pět od každého typu, ovšem vzhledem k zadání bylo potřeba provést přesnější měření. Bylo tedy stříháno 30 vzorků po osnově a 30 vzorků po útku od každého typu tkaniny (celkem tedy 720 vzorků).

Vystřižený vzorek měl rozměry 55x 250mm, z každé delší strany bylo vypáráno 5mm, výsledná šířka byla tedy 50mm. Upínací délka vzorku (vzdálenost čelistí) byla 200mm. Vzorky stříhané po osnově nesměly obsahovat stejné osnovní nitě, totéž platilo i pro útek, a vzdálenost od krajů musela být minimálně 15mm. Tomuto parametru normy bylo vyhověno jen do určité míry, protože při tak velkém počtu vzorků nebyla dostatečná šíře tkaniny (šíře tkaniny bývá 80~140cm). Rychlost zkoušky byla 100mm/min.

Naměřené hodnoty pevnosti a tažnosti jsou uvedeny v Tab. 1. v příloze 2.

5.3.2.1 Diskuze – hodnoty pevnosti tkanin

Pro porovnání byla kromě naměřených hodnot pevnosti ještě pevnost vypočítána dle vztahu (4.6). Naměřené i vypočtené hodnoty jsou porovnány v grafu na Obr. 5.7.



Obr. 5.7 Porovnání hodnot pevností tkanin vypočítaných a naměřených

Lze konstatovat, následující vlivy:

a) Vliv osnovy a útku u naměřených hodnot

Osnova má stejnou jemnost i dostavu pro všechny typy tkanin (plátno, kepr), zvyšuje se jemnost útku.

- U plátna s rostoucí jemností útku roste i pevnost útku, naopak pevnost osnovy klesá.
- U kepru s rostoucí jemností útku roste i pevnost útku, pevnost osnovy je konstantní.

Lze tedy konstatovat, že vliv má jemnost použitého materiálu, vazba a v neposlední řadě bude mít určité vliv i setkání (vnitřní struktura).

b) Vliv úpravy

Vlivem finální úpravy vzrostala dostava a taktéž i pevnost.

c) Naměřené – vypočtené hodnoty, zpřesnění predikce

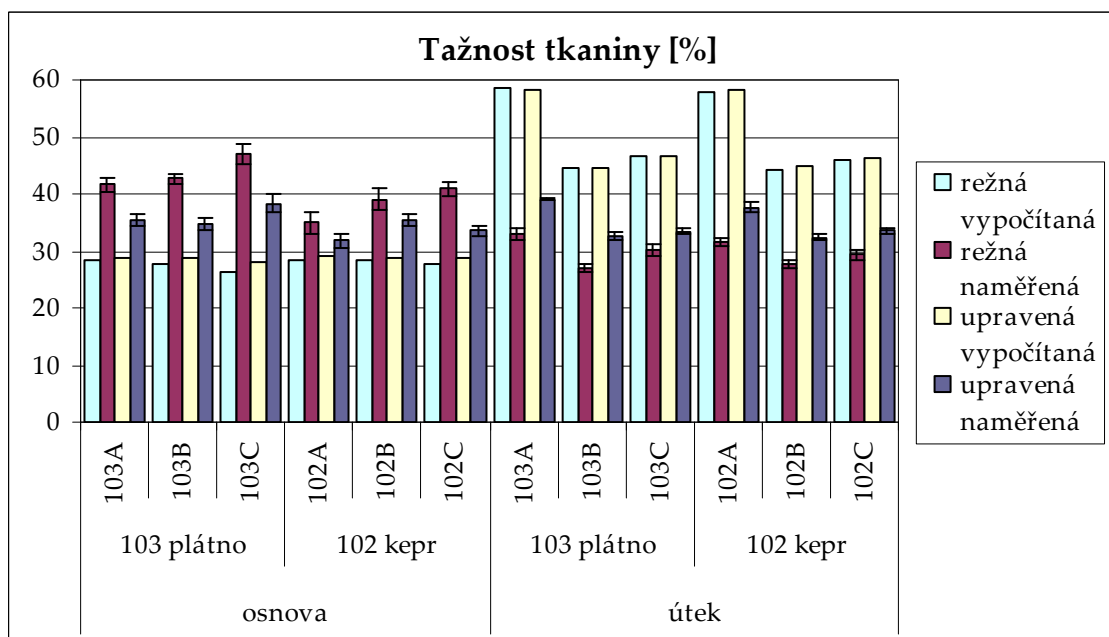
Hodnoty pevnosti tkaniny vypočítané dle vztahu (4.6) byly několikanásobně menší. S ohledem na naměřené hodnoty je tedy zřejmé, že u multifilových tkanin má rozhodující vliv vnitřní struktura multifilů a jejich schopnost protažení. Na základě toho byly navrženy opravné koeficienty ve tvaru:

$$P_{TKo,u} = D_{o,u} T_{DT} P_{DT} \alpha_P \beta_P, \quad (2.6)$$

kde $P_{TKo,u}$ je *pevnost tkaniny* po osnově nebo útku na jednotku délky (klasicky na 5cm, jako šíře vzorku tkaniny při tahové deformační zkoušce), $D_{o,u}$ je *dostava* osnovy nebo útku, P_{DT} je *poměrná pevnost* niti, T *jemnost*. Navrženy jsou korekční činitele vlivu směru namáhání α (osnova 0,74, útek 0,99) a korekční činitel vlivu finální úpravy β_P (1,1 pro upravovanou tkaninu osnovu i útek).

5.3.2.2 Diskuze – hodnoty tažnosti tkanin

Naměřené hodnoty jsou porovnány v grafu na Obr. 5.8, zvlášť pro osnovu a pro útek. Hodnoty vypočítané jsou stanoveny podle vztahu (4.8).



Obr. 5.8 Porovnání hodnot tažností tkanin režných a upravených

Lze konstatovat, následující vlivy:

a) Naměřené – vypočtené hodnoty

Pro osnovu jsou vypočítané hodnoty podhodnocené, naopak pro útek jsou značně nadhodnocené. Je zřejmé, že vztah pro výpočet tažnosti nevystihuje přesně ty dané charakteristiky, které jsou typické pro tkaniny z kadeřených multifilů.

b) Vliv úpravy u naměřených hodnot

Vlivem finální úpravy klesla tažnost osnovy a vzrostla tažnost útku (souvisí se změnami dostavy; D_o roste, D_u je konstantní, útek se více vlní kolem osnovy, což odpovídá i změnám v setkání).

c) Možnost predikce

Bylo provedeno porovnání tažnosti multifilu a tažnosti tkaniny. Lze konstatovat, že tažnost jednoho multifilu je nižší, než celková tažnost tkaniny, projevuje se tedy synergický jev. Zároveň lze navrhnout opravné koeficienty kde ε_{TK} je tažnost tkaniny po osnově nebo útku, ε_{DT} je tažnost multifilu. Navrženy jsou tyto korekce:

- Pro režnou tkaninu: pro osnovu $k_{To}= 1,47$ a pro útek $k_{Tu}=1,2$.
- Pro obarvenou (pravenou) tkaninu: pro osnovu $k_{To}= 1,2$ a pro útek $k_{Tu}=1,47$.

Je patrná jistá analogie mezi těmito hodnotami. Nelze přesně říci, proč se tak děje, musely by být provedeny ještě další experimenty s jinými typy multifilových tkanin.

5.3.2.3 Diskuze – tahové pracovní křivky tkaniny

Tahové deformační křivky některých tkanin jsou zobrazeny v Příloze č.3.

Z porovnání tahových pracovních křivek osnovy a útku lze konstatovat:

Tvary křivek jsou pro osnovy a útky odlišné, zatímco osnovy vykazují okamžité napínání, u útků je zřejmé narovnání. Vliv může mít nejen setkání, ale i narovnávání kadeření multifilů. Při dosažení meze pevnosti následuje lavina přetrhů. Plátna i kepry mají pro osnovu i útek téměř shodné trendy. Vliv finální úpravy je na tvarech křivek patrný pouze u osnovy keprů, u ostatních křivek není vliv úpravy zřejmý.

Tvary křivek tkanin mají shodné trendy, jako tvary křivek multifilů, je tedy možno říci, že vazba (provázání) na tyto nemá vliv.

6 Závěr

Hlavním cílem práce bylo prozkoumání chování tkanin vyrobených z multifilů při tahovém namáhání a ověření platnosti dostupných systémů (modelů) na projektování mechanicko-fyzikálních vlastností pro tyto multifilové tkaniny. V rešeršní části byly uvedeny některé systémy, které dokáží tyto vlastnosti předikovat, pokud se zadají základní parametry tkaniny, ovšem jen pro tkaniny z bavlněných přízí. Pro tkaniny z multifilů není žádný systém na projektování vlastností přístupný. Dále byly také v rešeršní části popsány odlišnosti geometrické struktury délkových textilií – přízí a multifilů a dopady této struktury na odlišné projevy ve tkanině. Byly zmíněny základní charakteristiky a modely vnitřní geometrie tkanin.

Experimentální část je zaměřena na zjišťování základních parametrů a mechanicko-fyzikálních charakteristik tkanin z multifilů. Byly zkoumány dvě sady multifilových tkanin, první sada tkanin byla ve vazbě plátňové, druhá sada ve vazbě keprové, navíc k dispozici v režném a obarveném stavu. Tkaniny se lišily v jemnostech použitých multifilů, v osnově byl použit multifil hladký opatřený zákrutem, v útku multifil jen s ochranným zákrutem a navíc kadeřený. Dostavy osnovy byly u režných tkanin shodné, totéž platilo i o útku. Stejně trendy prokazoval i kepr. Bylo tedy dopředu zřejmé, že prostorová geometrie tkanin - struktura bude díky různým parametrům multifilů odlišná.

Ověřovaly se základní parametry – jemnost a zákrut multifilů, dostava, setkání a plošná hmotnost tkanin. Setkání bylo zjišťováno dosud nenormovanou metodou za užití trhacího zařízení, tato metodika eliminuje chybu vzniklou intuitivním napínáním elementu a v praxi ji lze použít. Sporné je jen zvolení, při jakém nárůstu síly se má odečíst okamžité protažení z pracovních grafů. Na základě porovnání vypočítaných a navážených hodnot

plošných hmotností multifilových tkanin lze říci, že by bylo vhodné vztah pro výpočet upravit o odpovídající konstantu.

Z údajů o mechanicko-fyzikálních vlastnostech multifilů je jasně patrný vliv kadeření, zákrutu a jemnosti. Kadeřené multifily prokazovaly oproti multifilům hladkým mnohem větší odchylky tahových křivek. Zato u hladkých multifilů je při tahovém namáhání zřejmé, že došlo v určité fázi k změně jejich vnitřní struktury. Čím vyšší jemnost multifily měly, tím větší prokazovaly pevnost, ovšem při přepočtu na pevnost poměrnou se tyto od sebe příliš nelišily.

Hodnoty pevnosti tkaniny naměřené byly prokazatelně vyšší než hodnoty vypočtené, multifily tedy prokazují vyšší „elasticitu“, ta může být způsobena právě kadeřením. Na základě toho byly navrženy opravné koeficienty pro osnovu i útek, režnou i upravenou tkaninu.

Hodnoty tažnosti vypočtené byly pro osnovu menší než naměřené a pro útek naopak vyšší. Zároveň se v tkanině se projevil synergický jev, tažnost jednoho multifilu byla nižší než celková tažnost tkaniny. Pro výpočet byly navrženy opravné koeficienty.

7 Literatura

- [1] Kovář, R.: *Struktura a vlastnosti plošných textilií. Skriptum TU v Liberci, Liberec, 2003.*
- [2] Pospíšil, Z. a kolektiv autorů.: *Příručka textilního odborníka, část 2. SNTL, Praha, 1981.*
- [3] Neckář, B.: *Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů. Skriptum TU v Liberci, Liberec, 1998.*
- [4] Drašarová, J.: *Analýza příčných řezů tkaniny. Disertační práce, TU v Liberci, Liberec, 2004.*
- [5] Stříž, B.: *Mechanika textilií, část 1: Základy mechaniky kontinua. Skriptum TU v Liberci, Liberec, 2001.*
- [6] Stříž, B.: *Mechanika textilií, část 2: Aplikace mechaniky kontinua. Skriptum TU v Liberci, Liberec, 2003.*
- [7] Margetínová, S.: *Projektovanie bavlnárskych tkanín. Diplomová práce, TU v Liberci, Liberec, 2006.*
- [8] ČSN 80 0001: *Textilie. Třídění a základní názvy. 1973*
- [9] IN VCT 12-108-01/01: *Geometrické vlastnosti staplových přízí.*
- [10] Militký, J.: *Textilní vlákna : klasická a speciální. Skriptum TU v Liberci, Liberec, 2002.*
- [11] Neckář, B.: *Příze: Tvorba, struktura, vlastnosti. Skriptum TU v Liberci, Liberec, 1990.*
- [12] Neckář, B.: *Compression and Packing Density of Fibrous Assemblies. Textile Research Journal, 1997, roč. 67, č.2.*
- [13] Rambousková, M.: *Parametry multifilu v řezu tkaniny. Bakalářská práce, TU v Liberci, Liberec, 2006.*
- [14] IN VCT č.13-108-01/01: *Geometrické parametry tkanin. 2004.*

- [15] Kovář, R.: Struktura a vlastnosti plošných textilií. Skriptum TU v Liberci, Liberec, 2003.
- [16] Kolčavová Sirková, B.: Dílčí projekt: Systém projektování textilních dtruktur, 2.etapa: Tvorba systému projektování „příze-tkanina“. Manuál. Liberec, 2004.
- [17] Pitucha, T.: Anizotropie deformace tkaniny. Diplomová práce, TU v Liberci, Liberec, 2004.
- [18] Krupincová, G.: Stlačování příze mezi dvěma rovnoběžnými deskami. Diplomová práce, TU v Liberci, Liberec, 2003.
- [19] Louda, O.: Vlastnosti tkanin z polyesterového hedvábí. Diplomová práce, TU v Liberci, Liberec, 2009.
- [20] Skripta na deformaci
- [21] Košková, B.: Struktura a vlastnosti vláken. Skriptum TU v Liberci, Liberec, 1989.
- [22] Kovačič, P.: Textilní zkušebnictví, Díl I. Skriptum TU v Liberci, Liberec, 2004.
- [23] Kovačič, P.: Textilní zkušebnictví, Díl II. Skriptum TU v Liberci, Liberec, 2004.
- [24] <http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=1301&lng=1> : poslední aktualizace 14.5.2006
- [25] ČSN EN ISO 2060 (80 0702): Textilie. Nitě na návinech. Zjišťování jemnosti (délkové hmotnosti) pásmovou metodou. 1996.
- [26] ČSN EN ISO 2061: Textilie - Zjišťování zákrutu nití - Metoda přímého počítání. 1997.
- [27] ČSN EN 1049-2 (80 0814): Textilie. Tkaniny. Konstrukce. Metody analýzy. Část 2: Stanovení dostavy. 1995
- [28] ČSN EN 12127 (80 0845): Textilie – Plošné textilie – Zjišťování plošné hmotnosti pomocí malých vzorků. 1998

- [29] ČSN EN ISO 2062 (80 0700): Textilie - Nitě v návinech - Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu. 1996
- [30] ČSN EN ISO 13934-1 (80 0812): Textilie - Tahové vlastnosti plošných textilií - Část 1: Zjišťování maximální síly a tažnosti při maximální síle pomocí Metody Strip. 1999

Příloha č.1 – Testometric CT5



Obr. 1 Trhací zařízení Testometric TC5

Příloha č.2 – Tabulky

Tab.1 Hodnoty pevností tkanin naměřených a vypočítaných podle původních vztahů

soustava tkaniny				osnova						
vazba tkaniny				103 plátno			102 kepr			
typ tkaniny				103A	103B	103C	102A	102B	102C	
Pevnost [N]	režná	vypočítaná	$\bar{x}$	409,08	397,33	391,46	412,01	408,10	406,14	
		naměřená	$\bar{x}$	568,63	538,30	513,01	531,95	549,91	546,53	
			IS 95%	<558,44; 578,83>	<532,45; 544,16>	<502,20; 523,82>	<519,29; 544,60>	<539,85; 559,96>	<534,24; 558,81>	
	upravená	vypočítané	$\bar{x}$	422,78	418,86	400,27	420,82	420,82	418,86	
		naměřené	$\bar{x}$	655,63	635,62	603,11	606,70	626,67	617,05	
			IS 95%	<641,54; 669,71>	<623,76; 647,48>	<591,81; 614,42>	<597,39; 616,01>	<618,85; 634,49>	<606,66; 627,43>	
	soustava tkaniny				útek					
	vazba tkaniny				103 plátno			102 kepr		
typ tkaniny				103A	103B	103C	102A	102B	102C	
Pevnost [N]	režná	vypočítaná	$\bar{x}$	221,56	379,01	640,99	218,79	379,01	649,01	
		naměřená	$\bar{x}$	490,10	746,83	1278,48	462,79	691,23	1164,70	
			IS 95%	<482,64; 497,55>	<737,68; 755,98>	<1253,05; 1303,92>	<450,56; 475,02>	<661,87; 720,58>	<1086,70; 1242,70>	
	upravená	vypočítané	$\bar{x}$	243,71	416,91	675,71	240,67	416,91	699,22	
		naměřené	$\bar{x}$	508,11	783,68	1329,36	495,84	811,51	1382,53	
			IS 95%	<500,88; 515,34>	<778,26; 789,09>	<1306,61; 1352,11>	<485,63; 506,05>	<798,81; 824,21>	<1368,10; 1396,97>	

Tab.2 Hodnoty tažností tkanin naměřených a vypočítaných podle původních vztahů

soustava tkaniny				osnova					
vazba tkaniny				103 plátno			102 kepr		
typ tkaniny				103A	103B	103C	102A	102B	102C
Tažnost [%]	režná	vypočítaná	$\bar{x}$	28,54	27,82	26,38	28,42	28,32	27,59
		naměřená	$\bar{x}$	41,66	42,63	47,01	35,01	38,96	40,94
			IS 95%	<40,46; 42,86>	<41,59; 43,68>	<45,22; 48,79>	<33,13; 36,88>	<37,03; 40,89>	<39,59; 42,28>
	upravená	vypočítané	$\bar{x}$	28,69	28,75	27,94	29,03	28,79	28,64
		naměřené	$\bar{x}$	35,31	34,76	38,37	31,77	35,50	33,56
			IS 95%	<34,31; 36,32>	<33,68; 35,85>	<36,80; 39,94>	<30,66; 32,88>	<34,48; 36,52>	<32,61; 34,51>
soustava tkaniny				útek					
vazba tkaniny				103 plátno			102 kepr		
typ tkaniny				103A	103B	103C	102A	102B	102C
Tažnost [%]	režná	vypočítaná	$\bar{x}$	58,53	44,63	46,50	57,83	44,37	46,11
		naměřená	$\bar{x}$	33,00	27,11	30,11	31,72	27,82	29,45
			IS 95%	<32,03; 33,96>	<26,49; 27,73>	<29,04; 31,18>	<31,01; 32,42>	<27,05; 28,58>	<28,58; 30,31>
	upravená	vypočítané	$\bar{x}$	58,38	44,57	46,53	58,25	44,75	46,24
		naměřené	$\bar{x}$	39,07	32,57	33,39	37,61	32,39	33,58
			IS 95%	<38,82; 39,32>	<31,98; 33,16>	<32,87; 33,91>	<36,79; 38,43>	<31,85; 32,93>	<33,09; 34,07>

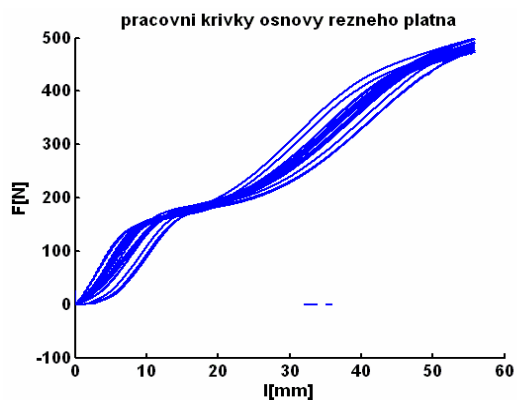
Tab.3 Hodnoty pevností tkanin naměřených a vypočítaných s užitím koeficientů

soustava tkaniny				osnova					
vazba tkaniny				103 plátno			102 kepr		
typ tkaniny				103A	103B	103C	102A	102B	102C
Pevnost [N]	režná	vypočítaná	$\bar{x}$	550,39	534,59	526,69	554,34	549,08	546,44
		naměřená	$\bar{x}$	568,63	538,30	513,01	531,95	549,91	546,53
			IS 95%	<558,44; 578,83>	<532,45; 544,16>	<502,20; 523,82>	<519,29; 544,60>	<539,85; 559,96>	<534,24; 558,81>
	upravená	vypočítané	$\bar{x}$	625,71	619,92	592,40	622,82	622,82	619,92
		naměřené	$\bar{x}$	655,63	635,62	603,11	606,70	626,67	617,05
			IS 95%	<641,54; 669,71>	<623,76; 647,48>	<591,81; 614,42>	<597,39; 616,01>	<618,85; 634,49>	<606,66; 627,43>
soustava tkaniny				útek					
vazba tkaniny				103 plátno			102 kepr		
typ tkaniny				103A	103B	103C	102A	102B	102C
Pevnost [N]	režná	vypočítaná	$\bar{x}$	327,91	750,43	1269,17	433,20	750,43	1285,03
		naměřená	$\bar{x}$	490,10	746,83	1278,48	462,79	691,23	1164,70
			IS 95%	<482,64; 497,55>	<737,68; 755,98>	<1253,05; 1303,92>	<450,56; 475,02>	<661,87; 720,58>	<1086,70; 1242,70>
	upravená	vypočítané	$\bar{x}$	360,70	825,47	1337,92	476,52	825,47	1384,45
		naměřené	$\bar{x}$	508,11	783,68	1329,36	495,84	811,51	1382,53
			IS 95%	<500,88; 515,34>	<778,26; 789,09>	<1306,61; 1352,11>	<485,63; 506,05>	<798,81; 824,21>	<1368,10; 1396,97>

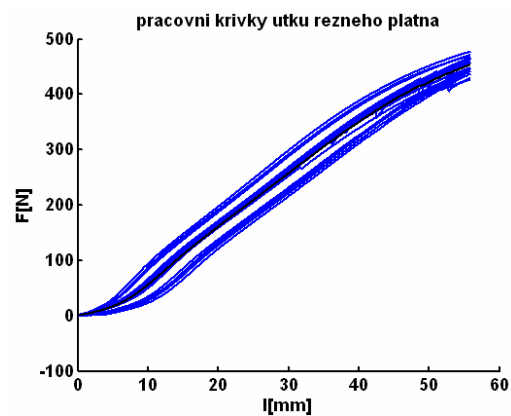
Tab.4 Hodnoty tažností tkanin naměřených a vypočítaných s užitím koeficientů

soustava tkaniny				osnova					
vazba tkaniny				103 plátno			102 kepr		
typ tkaniny				103A	103B	103C	102A	102B	102C
Tažnost [%]	režná	vypočítaná	$\bar{x}$	41,96	40,90	38,78	41,77	41,63	40,56
		naměřená	$\bar{x}$	41,66	42,63	47,01	35,01	38,96	40,94
			IS 95%	<40,46; 42,86>	<41,59; 43,68>	<45,22; 48,79>	<33,13; 36,88>	<37,03; 40,89>	<39,59; 42,28>
	upravená	vypočítané	$\bar{x}$	34,43	34,50	33,53	34,84	34,55	34,37
		naměřené	$\bar{x}$	35,31	34,76	38,37	31,77	35,50	33,56
			IS 95%	<34,31; 36,32>	<33,68; 35,85>	<36,80; 39,94>	<30,66; 32,88>	<34,48; 36,52>	<32,61; 34,51>
soustava tkaniny				útek					
vazba tkaniny				103 plátno			102 kepr		
typ tkaniny				103A	103B	103C	102A	102B	102C
Tažnost [%]	režná	vypočítaná	$\bar{x}$	35,12	26,78	27,90	34,70	26,62	27,67
		naměřená	$\bar{x}$	33,00	27,11	30,11	31,72	27,82	29,45
			IS 95%	<32,03; 33,96>	<26,49; 27,73>	<29,04; 31,18>	<31,01; 32,42>	<27,05; 28,58>	<28,58; 30,31>
	upravená	vypočítané	$\bar{x}$	40,87	31,20	32,57	40,77	31,33	32,37
		naměřené	$\bar{x}$	39,07	32,57	33,39	37,61	32,39	33,58
			IS 95%	<38,82; 39,32>	<31,98; 33,16>	<32,87; 33,91>	<36,79; 38,43>	<31,85; 32,93>	<33,09; 34,07>

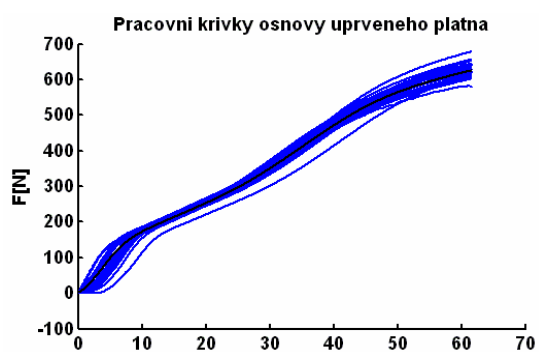
Příloha č.3 – Křivky tkanin



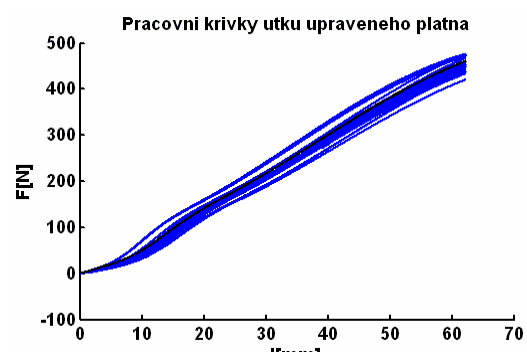
Obr. 2 Plátno 103A rezné - osnova



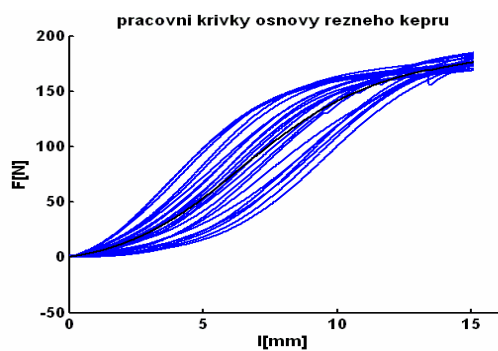
Obr. 3 Plátno 103A rezné - útek



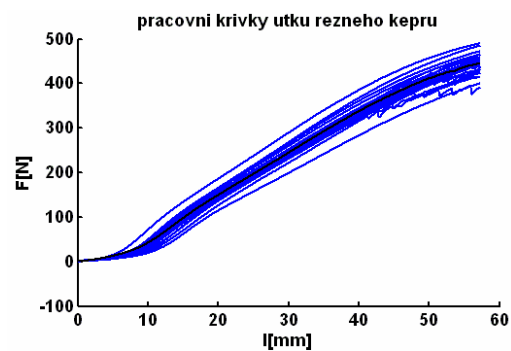
Obr. 4 Plátno 103A upravené - osnova



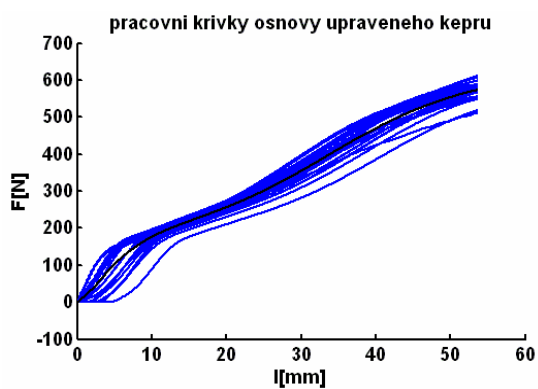
Obr. 5 Plátno 103A upravené - útek



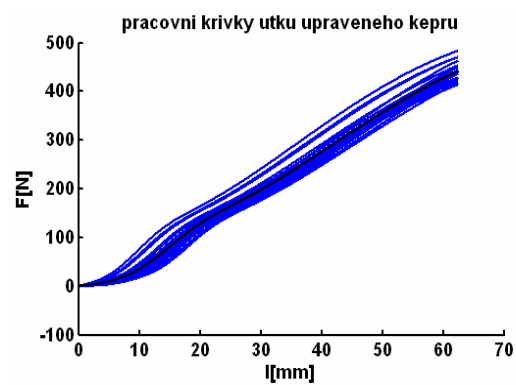
Obr. 6 Kepr 102A rezný - osnova



Obr. 7 Kepr 102A rezný - útek

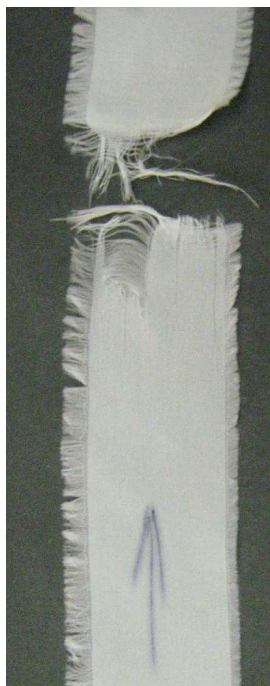


Obr. 8 Kepr 102A upravený- osnova

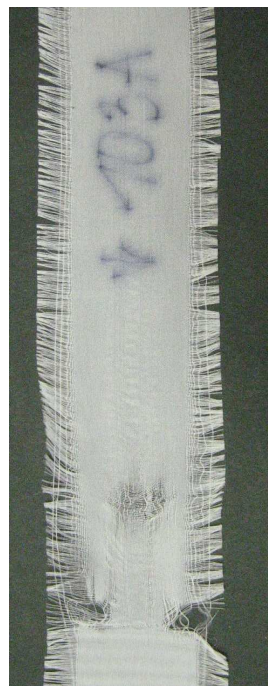


Obr. 9 Kepr 102A upravený- útek

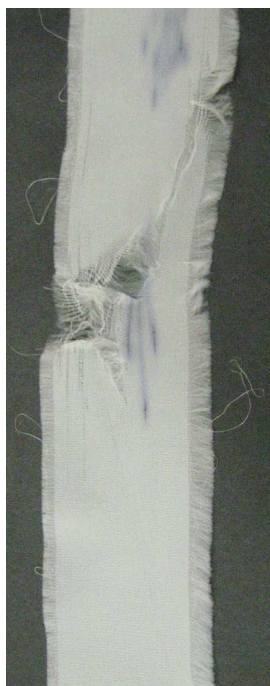
Příloha č.4 – Vzorky tkanin po tahovém namáhání



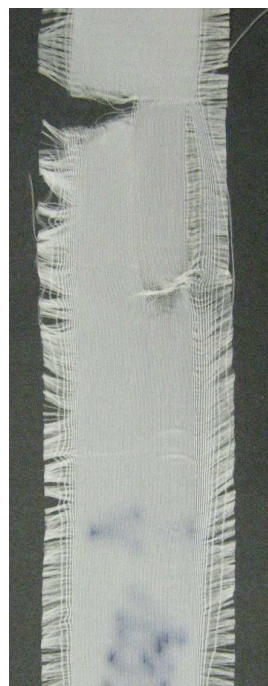
Obr.10 Plátno 103A osnova



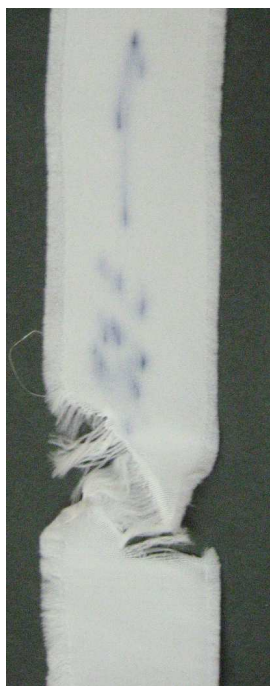
Obr.11 Plátno 103A útek



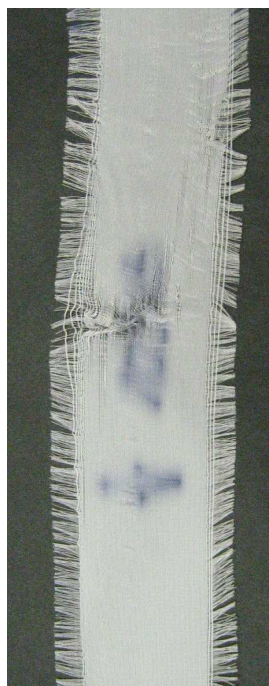
Obr. 12 Plátno103B osnova



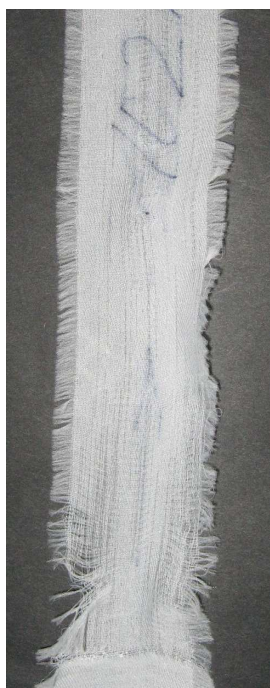
Obr. 13 Plátno 103B útek



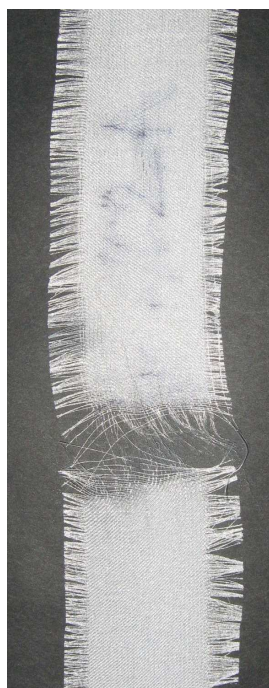
Obr. 14 Plátno 103C osnova



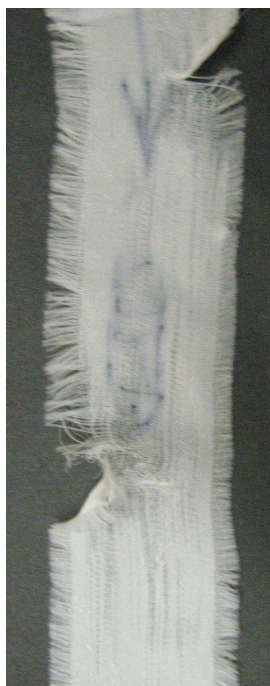
Obr. 15 Plátno 103C útek



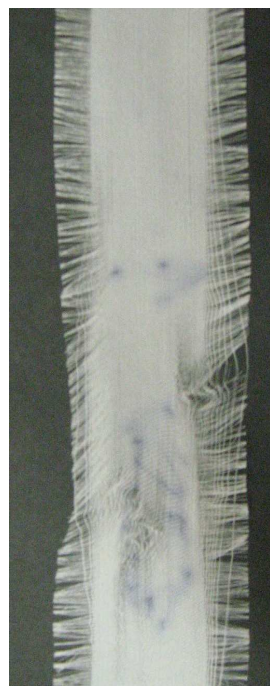
Obr. 16 Kepr 102A osnova



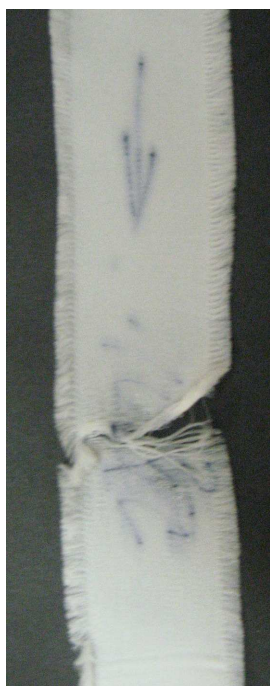
Obr. 17 Kepr 102A útek



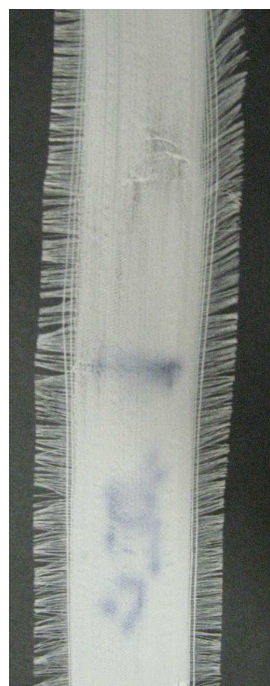
Obr. 18 Kepr 102B osnova



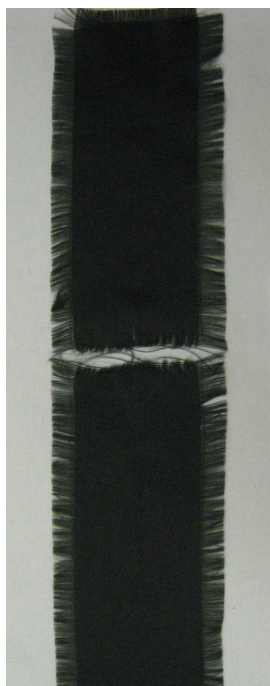
Obr. 19 Kepr 102B útek



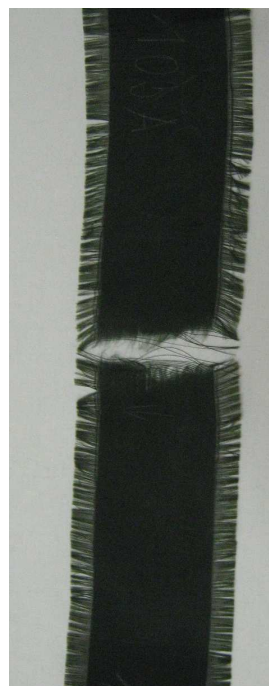
Obr. 20 Kepr 102C osnova



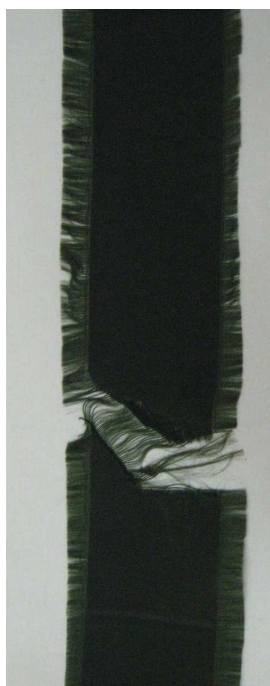
Obr.21 Kepr 102C útek



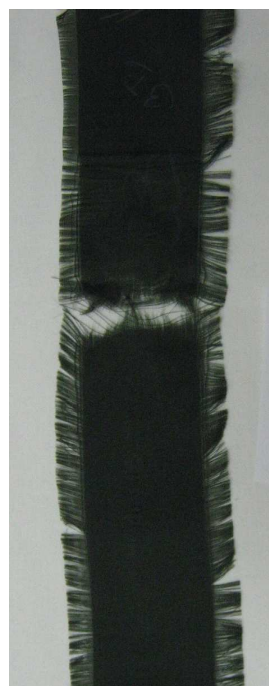
Obr. 14 Plátno 103A osnova



Obr. 15 Plátno 103A útek



Obr. 22 Plátno 103B osnova



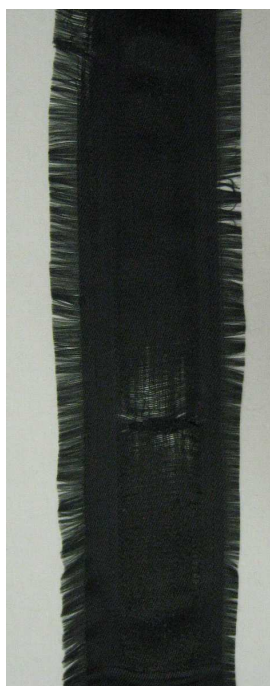
Obr. 23 Plátno 103B útek



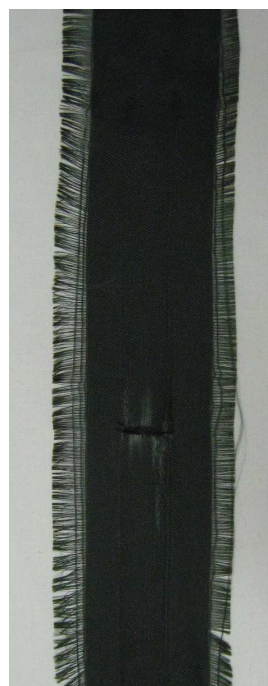
Obr. 24 Plátno 103C osnova



Obr. 25 Plátno 103C útek



Obr. 26 Kepr 102A osnova



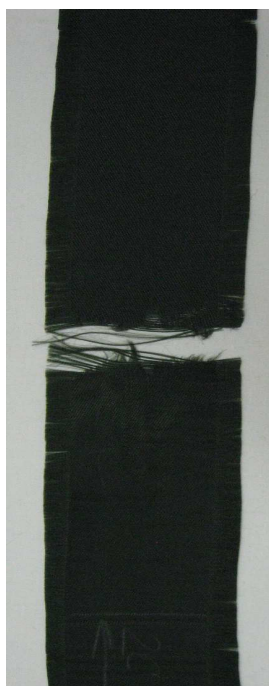
Obr. 27 Kepr 102A útek



Obr. 28 Kepr 102B osnova



Obr. 29 Kepr 102B útek



Obr. 30 Kepr 102C osnova



Obr. 31 Kepr 102C útek