

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2007

JAROSLAVA KOCOURKOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

**VLASTNOSTI TKANIN ZE SYNTETICKÝCH
VLÁKEN**

**THE PROPERTIES OF FABRICS FROM MAN-MADE
FIBRELESS**

LIBEREC 2007

JAROSLAVA KOCOURKOVÁ

Prohlášení

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

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

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

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

Jsem si vědoma toho, že užit 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 14. května 2007

.....

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych chtěla poděkovat Doc. Dr. Ing. Daně Křemenákové za mnoho cenných rad, připomínek a ochotu. Děkuji všem pracovníkům z KTT, KTM, KTC za pomoc při experimentu a Ing. Martině Košátkové Huškové za její pomoc při zpracování, za její ochotu a čas strávený se mnou ve škole.

Dále děkuji celé svojí rodině za duševní a materiální podporu během celého mého studia a bez nichž by tato práce také nevznikla.

ANOTACE

Diplomová práce je věnována zejména mechanickým vlastnostem. Zabývá se polyesterovým monofilem a změnou jeho vlastností po zatkání (v osnově a v útku). Dle dodaných informací je snaha vytipovat vhodné vlastnosti polyesterové tkaniny (armovací textilie) používané pro výrobu ionexových membrán. Hlavní náplní diplomové práce je sledování pevnosti malých vláknenných svazků (monofil, osnova, útek) a její následná simulace podle teorie Harlowa a Phoneixe. Součástí diplomové práce je studie vlivu upínací délky na pevnost monofilu. Kromě mechanických a geometrických vlastností byly zjišťovány i vlastnosti tepelné pomocí diferenční kompenzační kalorimetrie.

ANNOTATION

Diploma work is presentation especially mechanical quality. Deal with polyester monofilament and changes his quality after smash (in warp and in weft). According to supply information is endeavour look for characteristics of polyester fabric (reinforcing textile) used for production ionex membrane. Main filling diploma work is following strenght of small fibres bonds (monofilament, warp, weft) and her subsequent alteration simulation to theory Harlow and Phoneix. Part of this diploma work is study influence fixative lenght on strenght monofilament. Except mechanical and geometric charakteristics were recognition characteristics heat by the help of differential scanning calorimetry.

KLÍČOVÁ SLOVA

polyester

monofil

tkanina

armovací textilie

ionexová membrána

svazková pevnost

KEY COMPONENT

polyester

monofilament

fabric

reinforcing textile

ionex membrane

strenght of bonds

PŘEHLED SYMBOLŮ

KTT	katedra textilních technologií
KTM	katedra textilních materiálů
KTC	katedra textilní chemických technologií
PL	polyester
PA	polyamid
SEM	rastrovací elektronová mikroskopie
DSC	diferenční scanovací kalorimetrie
ED	elektrodialýza
EF	elektroforéza
EDI	elektrodeionizace
ME	membránová elektrolýza
M	monofil
O	osnova
U	útek
NT	nit'
CM	centimetr
IS	interval spolehlivosti
t	jemnost vlákna [tex]
d_e	ekvivalentní průměr [mm]
μ	zaplněním
m	hmotnost vlákna [g]
m_v	hmotnost vláknitého materiálu [g]
l	délka vlákna po deformaci [mm]
l_0	původní délka vlákna před deformací [mm]
ly	upínací délka [mm]
Δl	absolutní prodloužení
s	plocha příčného řezu vlákna [mm ²]

ρ	měrná hmotnost (hustota) [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
ρ_k	měrná hmotnost plnicí kapaliny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
P_k	hmotnost pyknometru naplněného kapalinou [g]
P_{kv}	hmotnost pyknometru naplněného kapalinou a vlákenným materiálem [g]
Φ_{vs}	využití pevnosti svazku
η_{vs}	využití tažnosti svazku
va	variační koeficient tažnosti [%]
ua	parametr
$f(u_a)$	hustota pravděpodobnosti
$F(u_a)$	distribuční funkce normálního rozdělení
N	počet vláken ve svazku
δ_v	pevnost vláken [$\text{N}\cdot\text{tex}^{-1}$]
δ_{sv}	pevnost vlákenného svazku [$\text{N}\cdot\text{tex}^{-1}$]
σ_s, σ_v	pevnost vlákenného svazku [$\text{N}\cdot\text{tex}^{-1}$]
$\overline{\sigma_s}, \overline{\sigma_v}$	střední hodnota pevnosti vlákenného svazku [$\text{N}\cdot\text{tex}^{-1}$]
$s_{\overline{\sigma_s}}, s_{\overline{\sigma_v}}$	směrodatná odchylka pevnosti vlákenného svazku [$\text{N}\cdot\text{tex}^{-1}$]
$F(\sigma)$	distribuční funkce pevnosti
$H(\sigma_s)$	distribuční funkce normálního rozložení pevnosti vláken ve svazku
σ_y	parametr měřítka
β_y	parametr Weibullova rozdělení
$\Gamma()$	gamma funkce
ε	deformace vláken (tažnost) [%]
σ	poměrná pevnost [$\text{N}\cdot\text{tex}^{-1}$]
F	síla [N]
F_p	přírazná síla [N]
L_f	pevnost jednoho vlákna [N]
$F(L_f)$	distribuční funkce
E_f	modul pružnosti [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$]
L_B	pevnost svazku [N]
E	modul pružnosti [Pa]

A_p	plocha pod tahovou křivkou [$N \cdot mm^{-1}$]
λ_p	dloužící poměr
ξ	skluz
P	mez pružnosti
S	počátek kluzu
A	maximální síla [N]
B	bod přetrhu
ΔG	změna obsahu volné entalpie [J]
ΔH	změna entalpie [J]
ΔS	změna entropie [$J \cdot K^{-1}$]
T	absolutní teplota [K]
T_c	teplota krystalizace [$^{\circ}C$]
T_g	teplota skelného přechodu [$^{\circ}C$]
T_m	teplota tání [$^{\circ}C$]
f	stupeň provázání
m	vazební exponent
f_m	opravný činitel
D	dostava osnovních nebo útkových nití [pn/100 mm]
p	rozteč osnovních nebo útkových nití [mm]
z	zakrytí tkaniny [mm]
μ	zaplnění tkaniny [-]
e	míra zvlnění tkaniny [-]
L	délka nitě ve vazné vlně [mm]
l_2	úsečka v Pierceově modelu [mm]
l_1	oblouk v Pierceově modelu [mm]
θ	úhly v Pierceově modelu [$^{\circ}$]
χ	úhly v Pierceově modelu [rad]
h	výška vazní vlny [mm]
s	setkaní tkaniny [%]

t	tloušťka tkaniny [mm]
M	plošnou hmotnost [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$]
F_{TK}	pevnost tkaniny [N]
ε_{TK}	tažnost tkaniny [%]
$K_{\text{V,P}}$	koeficientem využití pevnosti příze ve tkanině
k_{T}	koeficientem využití tažnosti příze ve tkanině [-]
l	délka vzorku [mm]
b	šířka vzorku [mm]
v_{def}	deformační rychlost [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]

OBSAH

Anotace.....	6
Klíčová slova.....	7
Přehled symbolů.....	8
1. ÚVOD.....	14
2. FORMULACE PROBLÉMU.....	15
3. REŠERŠNÍ ČÁST.....	16
3.1. Teoretické poznatky o polyesteru.....	16
3.1.1 Polyester a jeho historie.....	16
3.1.2 Chemické složení a struktura.....	17
3.1.3 Výroba.....	19
3.1.4 Vlastnosti a použití.....	22
3.2 Armovací textilie.....	23
3.3 Ionexová membrána.....	25
3.4 Geometrické vlastnosti vlákna.....	27
3.4.1 Jemnost.....	27
3.4.2 Průměr.....	27
3.4.3 Tvar příčného řezu.....	27
3.5 Mechanické vlastnosti vlákna.....	28
3.5.1 Pevnost a tažnost vláken.....	28
3.5.2 Modelová pevnosti svazku paralelních vláken.....	31
3.5.2.1 Modely pevností velkých vlákenných svazků.....	31
3.5.2.2 Využití pevnosti vlákenných svazků.....	33
3.5.3 Simulace pevností malých vlákenných svazků.....	34
3.6 Tepelné vlastnosti vlákna.....	35
3.6.1 Zkouška DSC.....	37
3.7 Geometrické vlastnosti tkaniny.....	39
3.7.1 Vazba, flotáž nitě.....	39

3.7.2	Pierceův model.....	40
3.7.3	Dostava, rozteč nití.....	41
3.7.4	Plošné zakrytí, zaplnění.....	42
3.7.5	Míra zvlnění, délka nitě ve vazné vlně, výška vlny, setkání.....	42
3.7.6	Tloušťka, plošná hmotnost.....	43
3.8	Mechanické vlastnosti tkaniny.....	44
3.8.1	Pevnost, tažnost tkaniny.....	44
4.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	45
4.1	Geometrické a tepelné vlastnosti monofilu a tkaniny.....	46
4.1.1	Jemnost.....	46
4.1.2	Průměr.....	47
4.1.3	Měrná hmotnost.....	48
4.1.4	Zkoumání povrchu a průřezu vláken.....	49
4.1.5	Porozita.....	52
4.1.6	Velikost očka a jeho úhly.....	54
4.1.7	Tepelné vlastnosti vláken.....	56
4.1.8	Tloušťka, plošná hmotnost a dostava.....	56
4.2	Mechanické vlastnosti monofilu a tkaniny.....	58
4.2.1	Trhací zkouška – vlákna.....	58
4.2.2	Trhací zkouška – tkanina.....	75
4.3	Zhodnocení parametrů udaných výrobcem.....	81
5.	ZÁVĚR.....	83
6.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	85
7.	SEZNAM PŘÍLOH.....	87

1. ÚVOD

Výroba textilu (příze, tkaniny, pleteniny) patří k nejstarším lidským dovednostem a její počátky spadají až do středověku. Vlna, len, pravé hedvábí a bavlna patří k nejstarším textilním materiálům. Do počátku průmyslové revoluce se držela rukodělná výroba.

Po roce 1880 nastala výroba chemických vláken. Technologické procesy začali studovat fyzici a začala se objevovat vlákna z polymerních látek. Mezi první syntetická vlákna patří viskóza, nylon (polyamid), polyester. Dnešní syntetická vlákna dokonale nahrazují vlákna přírodní a v řadě vlastností je předčí..

Výroba jednotlivých typů vláken se liší podle jejich druhu (přírodní, z přírodních polymerů, ze syntetických polymerů). Vlákna se stala samostatným materiálem v oblasti textilu. Ale stále se využívají především k výrobě plošných textilií.

Řada vláken byla už od starověku kromě oděvních účelů používaná pro účely v technických aplikacích. V dnešní době mají technické textilie v textilní výrobě přední místo. Příkladem jsou právě síta studovaná v diplomové práci. Tyto tkaniny představují velmi různorodý sortiment z hlediska použití. Těžiště jejich praktického použití je v průmyslu. Pro tento účel se uplatnila syntetická vlákna, především polyamidová a polyesterová. Požadovanými vlastnostmi jsou pevnost, odolnost v oděru, schopnost zachycovat nečistoty, nízká deformace, hladká povrchová struktura apod.

Pod pojmem hedvábnické technické textilie rozumíme především tkaniny vyrobené z jemných materiálů a nepřesahující hmotnost 200 g/m^2 . Polyesterová síta byla vyvinuta na základě zkušeností s polyamidovými síty, protože přinášejí další zlepšení jakosti např. snížením náchylnosti ke stárnutí a vyrovnanější tažností.

Dnes se k textilií přistupuje jako k systému se složitou vnitřní strukturou, protože v mnoha mechanismech její chování není vysvětleno. Proto dochází ke studování teorie textilních materiálů, která se zabývá teorií vláken, tj. vnitřní stavbou a vlastnostmi, teorií textilií z vláken vytvořených a teorií experimentálních metod, tj. sledováním skutečného chování textilií.

2. FORMULACE PROBLÉMU

Jemné syntetické (PL, PA,...) tkaniny (síta) jsou většinou vyráběny jako meziprodukt, protože dále jsou součástí výroby technických textilií . Samotná výroba takto jemných tkanin je velice obtížná. Příkladem je vysoký nárok na přesnost vazných bodů ve tkanině. Tzn., že nesmí docházet k jejich posuvům.

Kvalita síta musí být sledována již od jeho začátku. Je závislá především na vstupním materiálu (struktura a vlastnosti), procesu výroby (volba tkacího stroje, působení sil na stroji), zušlechtnění a relaxaci, obsluze, prostředí (teplota, vlhkost) apod.

Při optimálním výrobním procesu síta (armovací textilie – studované v diplomové práci) by se mělo postupovat dle následujících kroků.

Nejprve by se mělo stanovit k jakým účelům bude armovací textilie používána. Příkladem je, že síto studované v diplomové práci je následně používáno pro výrobu ionexových membrán.

Dále by jsme si měly stanovit požadavky na textilií (např. tloušťka, porozita, pevnost, tažnost,...) a ekonomické parametry.

Po té by se měly navrhnout prostředky k námi stanovených cílů. Prostředky jsou vstupní materiál (druh, jemnost,...), parametry tkaniny (dostava, zaplnění, zakrytí, plošná hmotnost,...), technologie stroje a úprava (zušlechtnění) textilie.

Posledním postupem by mělo být zhodnocení výsledků. Což je mnohdy problematické, protože je lze posoudit až po výrobě námi navržené textilie.

Z výše uvedených aspektů by se zkoumání problému mělo zabývat především strukturou výrobku. Protože struktura je nositelkou vlastností a bez jejího chápání nebude možno předpovídat chování zkoumaného síta.

Proto pro experiment bylo důležité zhodnotit parametry vstupního materiálu (polyesterový monofil). Posoudit kvalitu armovací textilie (z něho utkané), která je součástí výroby ionexové membrány. Byly sledovány geometrické vlastnosti (monofilu, osnovy, útku), parametry tkaniny, mechanické vlastnosti (monofilu, osnovy, útku a tkaniny) a tepelné vlastnosti (monofilu, osnovy a útku). Experiment byl zaměřen na studium a modelování malých vláknenných svazků (monofil, osnova, útek) s využitím teorie Harlowa a Phoenixe a na studium vlivu upínací délky.

3. REŠERŠNÍ ČÁST

Cílem práce bylo prozkoumat vlastnosti polyesterových monofilů, změnu jejich vlastností po zatkání a současně vlastnosti samotné tkaniny. Studium vlastností bylo zaměřeno zejména na pevnost a tažnost. Proto byla práce orientována na pevnost malých vlákenných svazků.

Z předcházejících úvah vyplynulo popsat v rešeršní části zkoumaný polyesterový materiál. Snahou bylo vylíčit jeho historii, chemické složení, strukturu, výrobu, vlastnosti a použití. Následně byla popsána výroba jemných syntetických tkanin (armovacích textilií). Problémy související s jejich výrobou a požadavky na vlastnosti, které jsou důležité pro zhotovení ionexových membrán, které byly popsány v navazující kapitole. Dále je rešeršní část zaměřena na popis vláken (geometrickou strukturu, mechanické a tepelné vlastnosti). Jsou zde popsány způsoby modelování svazkové pevnosti a simulace malých vlákenných svazků použité v diplomové práci. Poslední částí rešerše je popis tkaniny.

3.1. Teoretické poznatky o polyesteru

3.1.1 Polyester (PL) a jeho historie

Polyestery jsou skupina polymerů, které obsahují esterovou funkční skupinu [1], [5].

Přírodní polyester je znám asi od roku 1830. První syntetický polyester se používal během první světové války jako impregnační materiál. Vlákno ze syntetického polyesteru bylo objeveno v Anglii v roce 1941.

V současné době je ve světě (po bavlně) druhé nejpoužívanější textilní vlákno. Výroba polyesterových vláken v tzv. vyspělých zemích se však v posledních 30 letech postupně snižuje. K největším producentům dnes patří Čína a Indie.

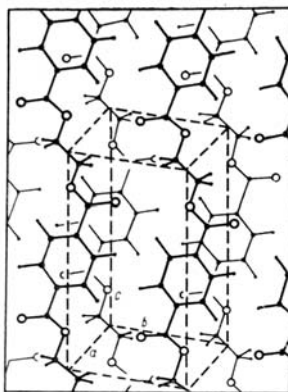
3.1.2 Chemické složení a struktura

Chemická struktura vlákna má vliv na jeho vlastnosti, jako jsou např. pevnost a tažnost, bod měknutí, absorpce vodní páry, barvitelnost aj. [6].

Polyesterové vlákno je lineární makromolekula, jejíž hlavní řetězec $[-CO-O-]$ se skládá nejméně z 85% z esteru (kyselina $HOOC-$ + alkohol $-OH$) vyrobeného polykondenzací [1].

Atomy v makromolekule jsou vázány primárními chemickými vazbami. Kohezní síly mezi makromolekulami jsou obecně zajišťovány sekundárními van der Waalsovými silami a vodíkovými můstky [2]. Polární skupiny polyesteru $-CO-O-$ neobsahují vodík, tedy se zde netvoří vodíkové můstky.

Elementární strukturální jednotka polyesterového vlákna je triklinická, polyester inklinuje spíše k tvorbě krystalické struktury (obr.1), což způsobuje přítomnost aromatických jader v makromolekule vlákna. Krystalická struktura vláken přibližuje vlastnosti vlákna vlastnostem krystalů (např. vysoká pevnost, malá deformace, výrazná změna v indexu lomu, elektrická vodivost apod.). Je to útvar „štěpitelný“, tzn. že je křehčí než útvary amorfni, více odolává různým činiidlům, méně bobtná, má vyšší měrnou hmotnost aj. [6].

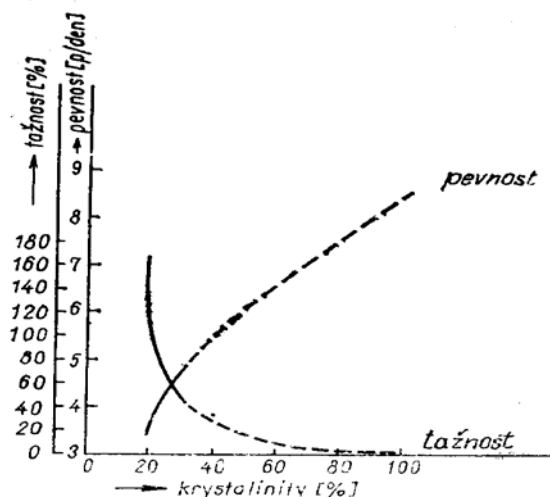


Obr.1 Krystalická struktura elementární buňky PES [2]

Při mechanickém namáhání dochází k vnitřním změnám ve struktuře vláken, zvyšuje se orientace a vnitřní uspořádání makromolekul. Makromolekula každého vlákna obsahuje velké

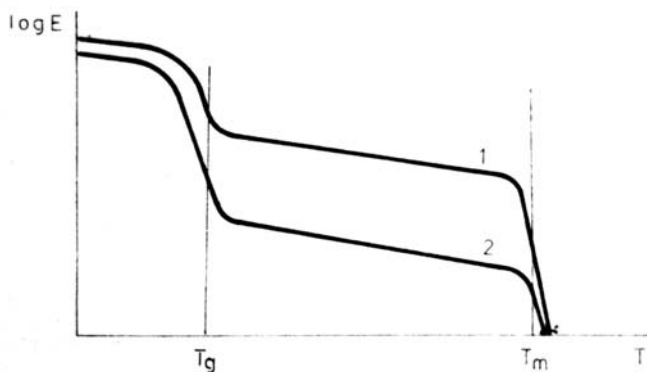
množství atomů, resp. atomových skupin, které jsou vázány chemickou vazbou v řetězce. Pevnost jednotlivých vazeb je dána její energií a deformací valenčních úhlů [6].

Z hlediska chemických materiálů má na modul pružnosti (viz kap.3.5.1) výrazný vliv krystalinita a orientace polymeru. Obr.2 odpovídá částečně krystalickému polymeru, na kterém je znázorněn vzestup pevnosti a pokles tažnosti v závislosti na stupni krystalizace, který není lineární.



Obr.2 Závislost pevnosti a tažnosti na krystalinitě [2]

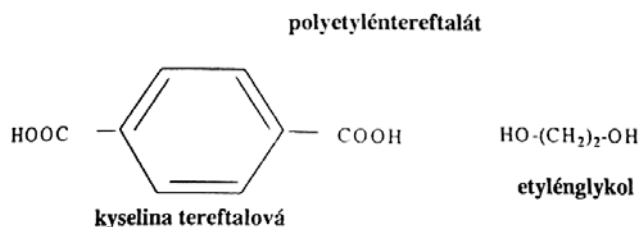
Modul pružnosti je silně závislý na teplotě a je určen nadmolekulární strukturou polymeru. Čím vyšší stupeň krystalinity má polymer, tím je změna v oblasti zesklenní méně patrná a tím k větší změně dochází při teplotě tání. Při nízkém stupni krystalinity je tomu naopak (obr.3). Modul pružnosti klesá s dobou namáhání.



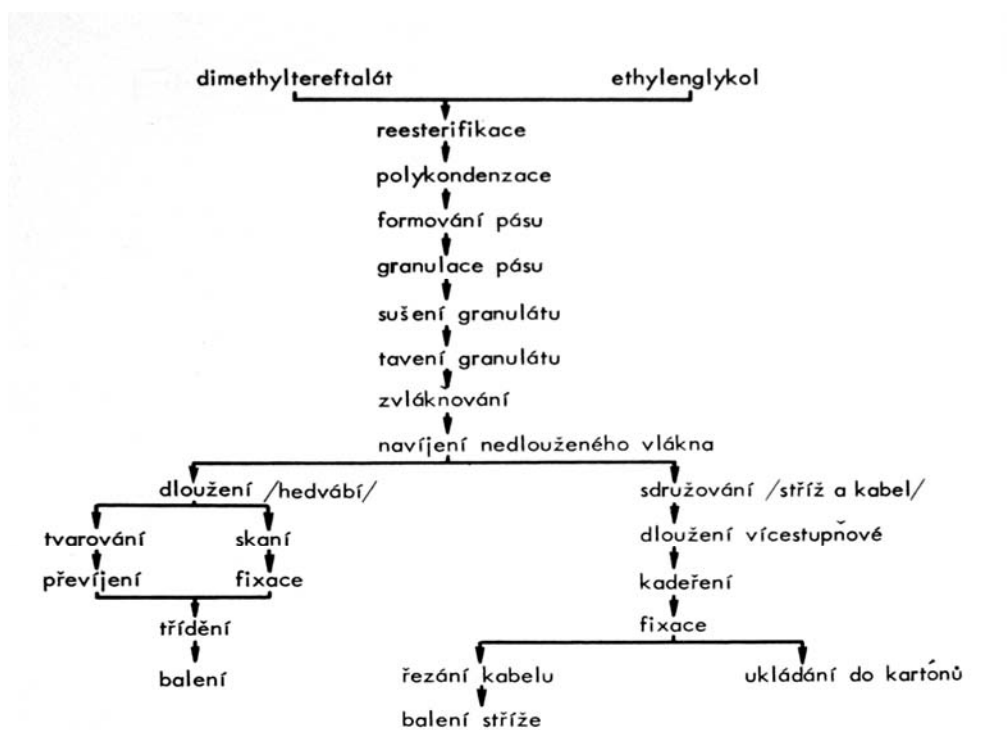
Obr.3 Závislost modulu pružnosti pro krystaly [5]

3.1.3 Výroba

Základní surovinou pro výrobu polyesteru je ropa, ze které se získává dimethyltereftalát a glykol [2]. Polykondenzací obou sloučenin pak vzniká polyethyltereftalát.



Obr.4 Schéma polyesteru [7]

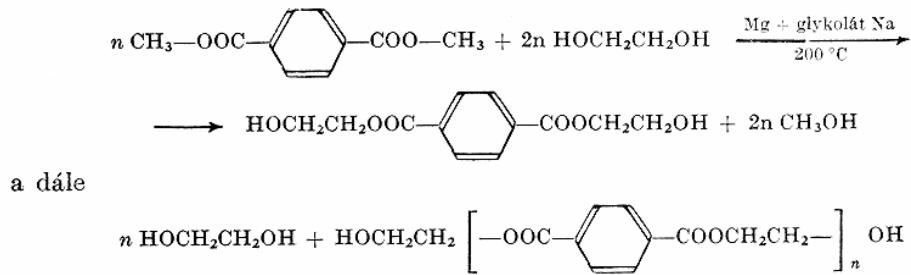


Obr.5 Hrubé schéma výroby PL vláken [4]

Polyethyltereftalát se

- a) přímo zvláknuje (kontinuální postup) nebo

b) zpracovává diskontinuálně: granulát – sušení – tavení – zvlákňování



Obr.6 Schéma chemické reakce výroby polyesteru [6]

Vlastní polykondenzace probíhá pak při teplotě kolem 280 °C.

Konečný výrobek je znám ve 3 formách: *hedvábí, kabel a stříž*.

Hedvábí (filament) se vyrábí v jednoduché, hladké podobě nebo modifikované. Polyesterové vlákno je svým chemickým složením velmi vhodné k modifikaci, tedy úpravám příměsí chemických sloučenin a k zušlechtnění mechanickým nebo pneumatickým tvarováním.

Kabel z polyesterových filamentů je surovina pro přádelny vlny, resp. přádelny dlouhých vláken. Zde se hedvábí zpravidla řeže na konvertoru na stapl lichoběžníkového tvaru.

Stříže se dodávají v délce a ostatních vlastnostech přizpůsobených vláknům, se kterými se směšují při předení.

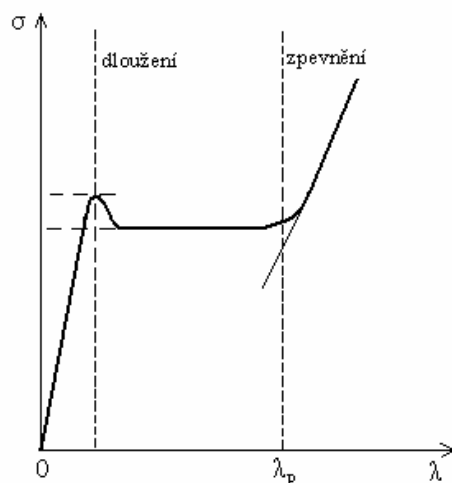
Výroba polyesterového hedvábí se obvykle skládá z těchto operací:

Výroba drtě u polyesterového hedvábí je obvykle diskontinuální (přetržitý proces), z důvodu vyšších nároků na kvalitu polykondenzátu. Zejména se vyžaduje rovnoměrnost viskozitního čísla, vysoká bělost drtě a přídavek stabilizátoru proti tepelnému odbourávání. Polykondenzát se vyrábí buď matovaný (tj. s přídavkem titanové běloby), nebo tzv. lesklý. Přetržitý způsob přípravy se obvykle skládá ze čtyř operací, a to z rozpouštění dimethyltereftalátu v etylénglykol, reesterifikace, polykondenzace, lití a granulace hotového polyetylentereftalátu. Dále následuje příprava drtě ke zvlákňování, která se skládá z dopravy a homogenizace drtě a její následné krystalizace a konečného sušení [2], [4].

Zvlákňování a navíjení je ovlivněno požadovanou jemností, podmínkami nastavovanými na výrobním zařízení (např. větší navíjecí rychlost než u stříže). Zvlákňuje se z taveniny. Tavicí a

zvlákňovací zařízení jsou obvykle konstruována do jednoho izolačního bloku. Při výrobě nekonečného hedvábí se používá většinou mnohamístných zvlákňovacích a navíjecích strojů, jimiž se získává vlákno nedloužené [2].

Dloužení je tahová deformace vlákna, při které dochází k trvalému orientování řetězců a polymerních segmentů do směru osy vlákna a krystalizaci (zmenší se vzdálenosti mezi krystalickými oblastmi a část amorfních oblastí se přemění na krystalické). Důsledkem toho dochází k podstatnému zvýšení pevnosti a snížení tažnosti, zvýšení hustoty vlákna, změně tvaru, snížení oděru, ke změně navlhavosti a afinity k barvivům. Dloužení je proces nevratný, tj. vlákna po prodloužení nejeví v podstatné míře snahu vrátit se do původního nedlouženého stavu. Dlouží se na mnohamístných strojích dloužících, kde se současně ská a navíjí na tzv. kopsy. Hedvábí z kopsů je možno přímo zpracovávat na některých typech textilních strojů nebo dále upravovat. Dloužící rychlost se pohybuje v rozmezí 400 – 1500 m/min a obvykle klesá se stoupající jemností [2]. Dloužení je možné provádět i za tepla (obvykle při teplotách do 100 °C, až do 500 % původní délky vlákna). Dloužení za tepla probíhá pomocí vyhřívaných trnů a dloužící poměr je nejčastěji okolo 1:4.



Obr.7 Pracovní křivka při dloužení PL vláken

Dloužení lze charakterizovat dloužícím poměr λ_p , který vymezuje oblast homogenního dloužení bez nebezpečí mikrotrhlin (obr.7). Na pracovní křivce se λ_p nachází jako inflexní bod určující počátek zpevnění. Závisí na rychlosti deformace a teplotě polymeru [7].

$$\lambda_p = \frac{l}{l_p} \quad (1)$$

Fixace je tepelná stabilizace. Jejím účelem je ustálení rozměrů vláken, relaxace napětí ve vláknech a stabilizace struktury. Fixace může být izotonická (beznapěťová) nebo izometrická (za konstantní délky) [7].

Preparace se na vlákna nanáší ve formě avivážního roztoku, musí zajišťovat kromě hladkosti a schopnosti rozvolnění jednotlivých vláken hlavně tzv. antistatickou úpravu, která zabezpečuje odvádění statické elektřiny vznikající při textilním zpracování vláken [2].

3.1.4 Vlastnosti a použití

Vlastnosti vláken jsou převážně určeny jejich chemickou strukturou, i když některé základní vlastnosti je možno ve značné míře měnit fyzikálními podmínkami při zvlákňování, dlužení a fixaci.

Ve srovnání s ostatními druhy textilního materiálu se polyester vyznačuje těmito přednostmi:

- velká pevnost a rychlé elastické zotavování mechanicky namáhaného materiálu
- malá tažnost (dobré mechanické vlastnosti)
- dobré tepelné i elektricky izolační vlastnosti spojené se stálostí proti vyšším teplotám
- příjemný teplý omak
- odolnost vůči oděru
- lépe odolávají slunci než PA
- rychlé sušení (malá navlhavost) a snadná údržba

Nedostatkem polyesterových vláken je:

- sklon k rychlejšímu špinění, hlavně vlivem vzniku elektrostatického náboje
- sklon ke žmolkování tkanin z polyesterové stříže
- nebezpečí poškození tkanin jejím protavením (např. při žehlení)

- vysoká měrná hmotnost
- afinita k barvivům

Základní vlastnosti a jejich hodnoty jsou znázorněny v tab.1.

Tab.1 Vlastnosti polyesterového vlákna

vlastnosti	hodnoty
pevnost za sucha [$\text{cN}\cdot\text{dtex}^{-1}$]	4,1 – 4,5
tažnost [%]	19 - 23
měrná hmotnost [g/cm^3]	1,37 – 1,38
teplota tání [$^{\circ}\text{C}$]	256 – 260
Teplota zesklnění [$^{\circ}\text{C}$]	67

Polyesterová vlákna se většinou případů používají ve směsi s přírodními vlákny na výrobu tkanin i pletenin určených pro pánské a sportovní košile, dámské halenky, oblekové tkaniny, záclonoviny, filtrační tkaniny, klínové řemeny, rybářské vlasce atd.

3.2 Armovací textilie

Armovací textilie (viz. obr.8) je vyráběna na skřipcových tkacích strojích typu Sulzer. Zpracování PL vláken přináší do tkaloven problémy související s jeho specifickými vlastnostmi, např.:

- vysoká pružnost způsobuje, že při zvýšeném napětí se vlákno nepřetrhne, nýbrž se protáhne a způsobuje v hotovém výrobku chyby, které jsou označovány jako lesknice nebo přepnuté nitě, závada je viditelná a těžko odstranitelná
- v průběhu snování vzniká statická elektřina
- při soukání a snování je nutné věnovat pozornost čističům přize a brzdičkám, pro zajištění stejnoměrného napětí všech nití

- dobrá kvalita nitěnek, paprsku a všech vodících částí tkacího stroje, aby nedocházelo k mechanickému poškození vláken

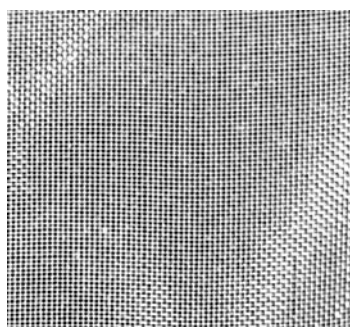
Naopak výhodou zpracování těchto vláken v tkalcovnách je jejich vysoká pevnost, která se projevuje snížením trhavosti, zvýšením rychlosti a produktivity.

Správné napětí vláken při tkaní je možno stanovit podle jejich meze pružnosti, avšak hedvábnický průmysl této možnosti při zpracovávání polyesterových vláken nevyužívá [3].

Během procesu tkaní, především při rozběhu a zastavení tkacího stroje, dochází k problémům stability tkacího procesu, ale i deformaci vazných bodů, resp. změně tkaniny [15].

Kromě rozdílného silového působení spočívá problém v obtížné (mnohdy technicky nemožné) kontrole síly v útku během jeho zanášení a následného zatkání [15].

Tkácí stroj kineticky, tj. pohybem svých mechanismů, budí síly v nitech potřebné pro formování tkaniny. Žádoucí pohyb osnovní a útkové nitě se nazývá skluz ζ . Dochází k němu, když okamžitá třecí síla mezi elementy nití je nižší, než přírazná síla F_p . V opačném případě dochází k protažení (deformaci) osnovních nití. Existují také síly, které nejsou pro formování tkaniny bezprostředně využity. Např. rozdíl ve zdvihu tkacích listů způsobuje poškození i destrukci nitě, rozdíly v protažení v nitech, což má negativní vliv na kvalitu vazných bodu a následně na kvalitu tkaniny [15].



Obr.8 Polyesterové síto

Armovací textilie slouží k výrobě ionexových membrán, proto jsou při výrobě kladeny na ni požadavky:

- maximální porozita tkaniny

- minimální tloušťka tkaniny
- žádné posuvy mezi osnovou a útkem ve tkanině
- vysoká čistota materiálu
- odolnost při požadované době fixace

3.3 Ionexová membrána

Heterogenní membrána je vysoce plněný polymerní kompozit složený z velmi jemně mletých polymerních částic s iontovýměnnými funkčními skupinami, zakotvenými v inertní polymerní matici a zpevněná armující textilií (pro lepší mechanické vlastnosti membrány). Membrány jsou děleny podle typu iontů, které propouštějí, na kationové membrány (propouští kationy) a anionové membrány (propouští aniony) [8].

Charakteristickým znakem iontoměničových membrán jsou funkční (ionogenní) skupiny kovalentně vázané na polymerní skelet. Náboj vázaných iontů v membráně je vyvážen ekvivalentním nábojem tzv. protiiontem. Je-li polymer umístěn do vodného roztoku, zbotná a stává se plastickým. Ve zbotnalém polymeru se mohou protiionty volně pohybovat difúzním mechanismem nebo působením elektrického pole. Za předpokladu, že bude zachována elektroneutralita, mohou protiionty vystupovat z membrány a vstupovat do ní z vnějšího roztoku. V elektrickém poli se membrána chová jako iontový vodič a propouští ionty jednoho typu náboje s vysokou selektivitou [8].

Výrobci uvádějí tyto výhody [8]:

- jednotlivé typy membrán jsou výrobně modifikovány a optimalizovány dle charakteru použití
- vykazují iontovýměnný a separační charakter pouze v tzv. zbotnalém stavu (popř. kondicionovaném)
- mají široké použití v separačních, demineralizačních a koncentračních procesech, kde je jako hnací síly využíván gradient elektrického potenciálu
- vyznačují se vynikajícími charakteristickými vlastnostmi, hlavně:

- dobrou rozměrovou stabilitou
- snadnou manipulaci ve zbobtnalém stavu (v suchém stavu vykazují značnou křehkost)
- nízkým elektrickým odporem
- vysokou permselektivitou
- chemickou stabilitou v širokém rozsahu pH s odolností proti řadě agresivních chemikálií a membránových jedům
- dobrou tepelnou stabilitou a vysokou životností (dle prostředí až 10 let)
- jsou méně náchylné vůči opětovnému vysušení a zbobtnání

Příklady možností použití jsou uváděny tyto [8]:

- zejména pro aplikace tzv. elektromembránových procesech jako:
 - elektrodialýza (ED)
 - elektroforéza (EF)
 - elektrodeionizace (EDI)
 - membránová elektrodialýza (ME)
- při odsolování a koncentrování mořských a brakických nebo průmyslových vod
- při dělení systému elektrolyt-neelektrolyt
- při demineralizace a koncentrování iontů v chemickém, farmaceutickém a potravinářské průmyslu
- při udržování chemické rovnováhy iontů v elektroforéze

Zpracování průmyslových roztoků za použití těchto membrán je bezodpadové, ekologicky a ekonomicky výhodné, umožňující i využití v kontinuální lince [8].

3.4 Geometrické vlastnosti vláken

3.4.1 Jemnost

Jemnost vláken vyjadřuje vztah mezi hmotností vlákna m a jeho délkou l nebo plocha příčného řezu vlákna s násobenou měrnou hmotností (hustotou) ρ daného vlákna. Pro vyjádření jemnosti používáme soustavy *tex* [10].

$$t = \frac{m}{l} = s \cdot \rho \quad (2)$$

3.4.2 Průměr

Pro monofil platí předpoklad, že zaplnění je rovno jedné ($\mu=1$). Za předpokladu kruhového průřezu monofilu, i když průřez není kruhový, je zaveden ekvivalentní průměr d_e , vyjádřený pomocí jemnosti monofilového vlákna a jeho hustoty.

$$d_e = \sqrt{\frac{4 \cdot t}{\pi \cdot \rho}} \quad (3)$$

Ekvivalentní průměr d_e vyjadřuje průměr kruhového vlákna, který má stejný průřez vlákna s jako vlákno nekruhové.

3.4.3 Tvar příčného řezu

Řezem textilie nazýváme protnutí textilie rovinou svírající daný úhel (úhly) s určenou osou (osami). Jedna z os textilie je obvykle totožná se směrem průchodu strojem [25].

Příčný řez textilie je řez vedený kolmo ke směru průchodu textilie strojem a podélný řez je rovnoběžný s tímto směrem.

Tvar příčného řezu polyesterových vláken je dán tvarem použitých zvláknovacích trysek. Z pravidla se jedná o kruhový tvar, výjimečně se pomocí speciálních trysek vyrábějí vlákna s hvězdicovým, hřebínkovým nebo dutým průřezem.

3.5 Mechanické vlastnosti vláken

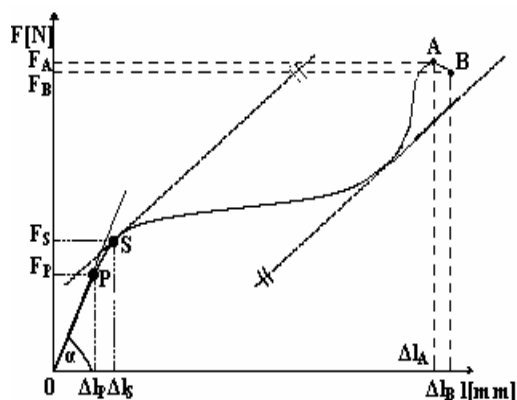
Mechanické charakteristiky jsou závislé na chemické struktuře vlákna, na podmínkách zvláknování resp. fixace, na teplotě, vlhkosti, způsobu a rychlosti namáhání apod. Mechanické vlastnosti souvisejí i s ostatními vlastnostmi vlákna (např. optickými, elektrickými, tepelnými) [6].

Působením vnějších sil dochází ve vláknech k trvalým strukturním změnám v uspořádání tuhých řetězců, tj. změně orientace, změně poměru zastoupení různých fází. Tyto strukturní změny způsobují rozdílnost v mechanickém chování vláken (monofilů).

Mechanické vlastnosti mají význam nejen pro zpracování vláken v textilním průmyslu, ale i pro konečné uživatele.

3.5.1 Pevnost a tažnost vláken

Zkoušky pevnosti vláken provádíme na trhacích přístrojích a zjišťujeme mezní odolnost přize při účinku tahové síly. Měří se jednoosá deformace v tahu, která je základním režimem namáhání. Protahování vláken až do přetrhu znázorňuje obecná pracovní křivka (obr.9). Počáteční modul vyjadřuje strmost tahové křivky až do bodu meze pružnosti. Modul pružnosti závisí na druhu materiálu, teplotě, době a rychlosti zatěžování [5]. Čím je křivka strmější, tím větší odpor má textilie proti deformaci, nebo-li čím menší je modul pružnosti, tím vyšší je tažnost.



Obr.9 Obecná tahová křivka textilie

- 0: počátek
- 0 – P: oblast pružných (elastických) deformací - po odstranění zatížení se vlákno vrátí do původního stavu (jedná se o tzv. vratnou deformaci) – platí zde Hookeův zákon
- P: mez pružnosti - nad tímto bodem se začíná projevovat plastická deformace
- S: počátek kluzu (mez kluzu) - je významným bodem, od kterého začíná výrazná plastická deformace, tj. nevratná
- A: maximální síla (mez pevnosti)
- B: bod přetrhu

Pevnost vyjadřuje maximální napětí, to znamená sílu, která při daném způsobu namáhání vlákno přetrhne. Obvykle se vyjadřuje v [N] [26].

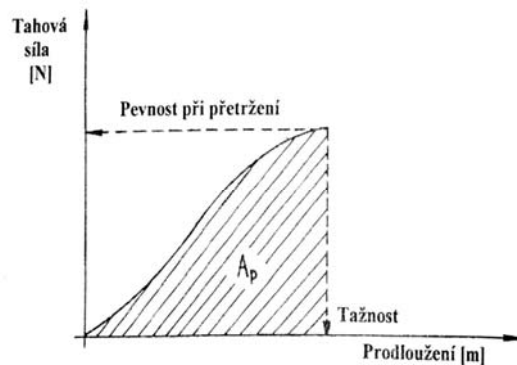
Poměrná pevnost je poměr tržné síly nitě k její délkové hmotnosti. Obvykle se vyjadřuje v [N/tex].

$$A = \frac{F}{T} \quad (4)$$

Tažnost vyjadřuje přírůstek délky (při daném způsobu namáhání) v [%] původní délky vlákna při přetržení [11]. Tažností se tedy rozumí celkové poměrné prodloužení při přetržení, kterou vyjádříme podle vztahu:

$$\varepsilon_p = \frac{L_p - L_o}{L_o} \cdot 100 \quad (5)$$

Zkoušky tažnosti a pevnosti probíhají současně, což umožňuje zjišťovat *deformační práci* do přetržení A_p . Její velikost je úměrná ploše pod tahovou křivkou vlákna v pracovním diagramu (viz obr.10) [11].



Obr.10 Obecné schéma pracovního diagramu příze [9]

Princip nejslabšího článku

Díky nahodilé struktuře molekul má pevnost statistický náhodný charakter. Statistická teorie pevnosti je založena především na tzv. principu nejslabšího článku. Tzn., že pevnost vlákna nezávisí na počtu ani na distribuci defektů v polymeru, ale na nejnebezpečnějším defektu, který se v namáhaném vzorku vyskytuje [5]. Tímto kritickým defektem může být např. trhлина, zúžení, vrub apod.

Statistickou teorii pevnosti lze shrnout do několika základních bodů

- v různých vzorcích téhož materiálu, připravených stejnou technologií, se vyskytují defekty s rozdílným stupněm nebezpečnosti
- nebezpečnost defektu roste s jeho velikostí - čím je větší velikost defektu, tím menší je pravděpodobnost jeho výskytu
- čím větší je objem vzorku, tím vyšší je pravděpodobnost výskytu nebezpečného defektu (tzv. rozměrový efekt)
- pevnost je určena nejnebezpečnějším defektem

Pevnost vlákenných svazků

Pro zjednodušení je uvažován svazek geometricky stejných paralelních vláken uspořádaných rovnoběžně. Pokud by tato vlákna byla naprosto totožná z ohledu chemické struktury, geometrické i mechanické stránky a praskla všechna najednou, bylo by napětí svazku při přetrhu stejné jako napětí libovolného vlákna. V praxi je ovšem nemožné zajistit všechny tyto předpoklady. Při přetrhu tedy dochází k postupnému praskání vláken od těch nejslabších (vlákna s největšími defekty). Přenášené napětí se potom rovnoměrně rozdělí mezi zbylá vlákna [10].

Vliv upínací délky

Na zkoušení mechanických vlastností má velký vliv upínací délka za uvažování teorie nejslabšího článku. Větší délka tedy v praxi znamená vyšší pravděpodobnost výskytu většího počtu slabých míst. Souhrnně lze tedy říci, že s kratší upínací délkou roste tažnost ve vlákne a je zapotřebí působení větší síly k dosažení přetrhu vlákna.

3.5.2 Modelování pevností svazku paralelních vláken

Pro pevnost svazku paralelních vláken se využívají pravděpodobnostní modely, kde pevnost a tažnost svazku jsou náhodné veličiny, které jsou popsány normálním, Weibullovým či jiným rozložením. Stanovením pevnosti vlákenných svazků (s větším počtem vláken než sto) se zabývali např. Hearle, Žurek, Solovjev, Neckář, Pan a Křemenáková.

3.5.2.1 Modely pevností velkých vlákenných svazků

Velkými vlákennými svazky jsou namysli svazky s počtem vláken většími než sto. Neckář [10] odvodil, že využití pevnosti a tažnosti svazku vláken závisí pouze na variačním koeficientu tažnosti za těchto předpokladů:

- tahové pracovní křivky jsou hladké monotónně rostoucí, jsou podobné a nahrazuje je vzorová tahová křivka, která je hladká monotónně rostoucí procházející počátkem a bodem střední pevnosti a tažnosti
- platí předpoklad napěťové podrobnosti a předpoklad souměrných pevností – body přetrhů jsou rovnoměrně rozptýleny nad a pod vzorovou tahovou pracovní křivkou
- platí předpoklad normálního rozložení pevností vláken

Pro využití pevnosti vláken ve svazku Φ_{vs} a využití tažnosti vláken ve svazku η_{vs} je odvozeno

$$\eta_{vs} = u_a v_a + 1, \phi_{vs} = u_a v_a + 1 [1 - F(u_a)] \quad (6)$$

kde v_a je variační koeficient tažnosti. Parametr u_a lze určit z rovnice

$$\frac{v_a}{u_a v_a + 1} \frac{1 - F(u_a)}{f(u_a)} = 1 \quad (7)$$

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

Dle prací Pana [19], [20] je rozložení pevnosti vláken popsáno dvou-parametrickým Weibullovým rozložením, kde l_y je upínací délka, σ_v je pevnost vláken, β_y je parametr měřítka a β_y je parametr tvaru rozložení. Pro distribuční funkci platí

$$F(\sigma) = 1 - \exp(-l_y \alpha_y \beta_y \sigma_v^{\beta_y}) \quad (8)$$

Střední hodnota $\bar{\sigma}_v$ a směrodatná odchylka pevnosti s_{σ_v} jsou definovány vztahy

$$\bar{\sigma}_v = (l_y \cdot 2_y)^{\frac{1}{\beta_y}} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right) \quad (9)$$

$$s_{\sigma_v} = \bar{\sigma}_v \left(\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta_y}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

kde $\Gamma()$ je gamma funkce. Pro velké svazky odvodil Daniels, že pevnost svazku σ_s může být aproximována normálním rozdělením

$$H(\sigma_s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi s_{\sigma_s}}} \exp\left[-\frac{(\sigma_s - \bar{\sigma}_s)^2}{2s_{\sigma_s}^2}\right] \quad (11)$$

Střední hodnota pevnosti svazku vláken $\overline{\sigma_s}$ je rovna

$$\overline{\sigma_s} = (l_y \alpha_y \beta_y)^{\frac{1}{\beta_y}} \exp\left(-\frac{1}{\beta_y}\right) \quad (12)$$

a směrodatná odchylka pevnosti svazku vláken $s_{\overline{\sigma_s}}$ je rovna

$$s_{\overline{\sigma_s}} = (l_y \alpha_y \beta_y)^{\frac{2}{\beta_y}} \exp\left(-\frac{1}{\beta_y}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{\beta_y}\right)\right) N^{-1} \quad (13)$$

V práci [21] je uveden iterační postup pro určení parametru β_y

$$\delta_y \left(\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta_y}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right)} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} - s_{\overline{\sigma_y}} = 0 \quad (14)$$

Na základě známé střední hodnoty pevnosti vláken a směrodatné odchylky pevnosti vláken lze určit parametry α_y, β_y Weibullova rozložení a vypočítat pevnost vláken ve svazku a směrodatnou odchylku pevnosti svazku.

3.5.2.2 Využití pevnosti vlákenného svazku

Poměrná pevnost vlákenného svazku δ_{sv} je často zjednodušeně vyjadřovaná jako součin pevnosti vlákna δ_v a využití pevnosti svazku Φ_{vs} [18].

$$\delta_{sv} = \delta_v \cdot \phi_{vs} \quad (15)$$

V práci [18] je na základě Pana odvozen aproximační vztah pro využití pevnosti vláken

$$\phi_{vs} = \frac{\overline{\sigma_s}}{\sigma_v} = (\beta_y)^{\frac{1}{\beta_y}} \exp\left(-\frac{1}{\beta_y}\right) / \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right) \quad (16)$$

Tento vztah ukazuje, že využití pevnosti vláken ve svazku závisí pouze na parametru β_y . Variační koeficient pevnosti vláken lze vyjádřit jako směrodatné odchylky (9) a střední hodnoty pevnosti vláken (12)

$$v_{\sigma_v} = \frac{s_{\sigma_v}}{\sigma_v} = \left(\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta_y}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Variační koeficient je také funkcí pouze parametru tvaru β_y

$$\frac{1}{v_{\sigma_v}} \approx 0,909 \beta_y \quad (18)$$

Po dosazení do vztahu (16) vyjde aproximační vztah kde $u=0,909 v_{\sigma_v}$

$$\phi_{vs} = \left(\frac{1}{u}\right)^{-u} \exp(-u) / \Gamma(1+u) = u^u \exp(-u) / \Gamma(1+u) \quad (19)$$

3.5.3 Simulace pevností malých vlákenných svazků

V diplomové práci je navržena simulace pevností vhodná pro použití malých vlákenných svazků [17], [22], [23], [24]. Kdy L_f je pevnost jednoho vlákna dále definovaná jako pevnost a L_B je pevnost vlákenného svazku (2-10 vláken).

Předpoklady pro modelování svazkové pevnosti vláken:

- pevnost L_f vlákna má normální rozdělení a řídí se distribuční funkcí $F(L_f)$
- tahová křivka vlákna je lineární s konstantním modulem pružnosti E_f
- distribuční funkce modulu pružnosti je nezávislá na rozložení napětí při přetruhu náhodného vlákna (v modelu je považována za konstantní veličinu)
- celková pevnost vlákenného svazku je určena součtem pevností N paralelních vláken vetknutých v obou koncích
- při přetruhu vlákna ve svazku se zatěžující síla rovnoměrně rozloží na zbylá vlákna ve svazku
- jednotlivá vlákna ve svazku se vzájemně neovlivňují
- geometrické změny vlákenného svazku během zkoušky jsou zanedbány

Z výše vedených předpokladů vyplývá, že působící zatěžovací sílu rovnoměrně přenášejí všechna vlákna ve svazku. Tzn., že podíl zatěžující síly a počtu vláken ve svazku udává velikost síly, kterou přenáší každé vlákno. Nejprve jsou naměřená data pevností svazků srovnána podle pořádkové statistiky od nejnižších hodnot po nejvyšší. Svazkové pevnosti jsou poté definovány jako $L_{B(1)} \leq L_{B(i)} \leq \dots \leq L_{B(N)}$, kde $L_{B(i)}$ je i -tá nejnižší hodnota pevnosti svazku ve vzorku, který je tvořen N vlákny. Pevnosti jednotlivých vláken ve svazku jsou definovány stejným způsobem jako pevnosti svazků, a to: $L_{f(1)} \leq \dots \leq L_{f(i)} \leq L_{f(i+1)} \leq \dots \leq L_{f(N)}$

Při přetrhu jednoho vlákna ve svazku se jeho pevnost řídí následujícím vztahem:

$$L_{B(i)} \leq L_{f(1-i/N)} \leq L_{B(i+1)} \quad (16)$$

Pro simulaci pevnosti vlákenného svazku byla použita pevnost jednoho vlákna definována vztahem $L_{f(1)} \leq \dots \leq L_{f(i)} \leq L_{f(i+1)} \leq \dots \leq L_{f(N)}$. Pevnost vlákenného svazku L_B je tedy dána pevností nejpevnějšího vlákna. Když bude platit alespoň jedna z podmínek svazek praskne. Pak pro pevnost svazku bude platit:

$$L_B = \max[L_{f(i)} \times (N - i + 1)] \text{ pro } i = 1 \dots N \quad (17)$$

3.6 Tepelné vlastnosti

Mezi základní termické charakteristiky patří skelný přechod, teplota tání a efektivní teplota fixace. Pro hodnocení těchto charakteristik se používají metody termické analýzy, které jsou popsány v kapitole 3.6.1.

Teplo nebo jiná forma energie může vyvolat různé strukturální změny, urychlit chemické reakce a způsobit tak změny mechanických, popř. i chemických vlastností vláken. Krystalické struktury se vyznačují dobře definovatelným bodem tání T_m [6].

Tak jako pro všechny látky musí i pro polymery platit vztah:

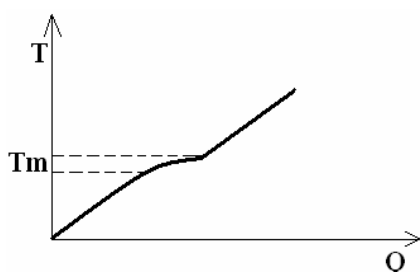
$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (18)$$

kde ΔG je změna obsahu volné entalpie, ΔH je změna entalpie, ΔS je změna entropie a T je teplota. Při bodu tání T_m bude $\Delta G=0$, odtud:

$$T_m = \Delta H / \Delta S \quad (19)$$

Vidíme, že bod tání můžeme zvýšit jednak zvýšením ΔH , tj. mezimolekulárních přitažlivých sil, jednak snížením ΔS , tj. snížením ohebnosti řetězce [6]. Např. polyester etylénglykolu a kyseliny tereftalové jsou krystalické a tají asi při 250 °C.

Dodává-li se nějaké pevné látce teplo, jeho teplota stoupá. Stoupání teploty je tím vyšší, čím menší je specifické teplo dané látky, a pokračuje tak dlouho, až se dosáhne bodu tání. V tom okamžiku přestane teplota stoupat, a to tak dlouho, dokud se látka nepřevede z pevné fáze ve fázi kapalnou (obr.11)



Obr.11 Oblast měknutí vláken

Teplo, které se pevné látce dodává, zvyšuje vnitřní energii systému. Jestliže se uvažuje látka krystalická (jako v našem případě), je možno si představit, že dodané teplo zvyšuje kmitání atomů, popř. iontů, v mřížce kolem rovnovážné polohy. Při teplotě tání T_m dosahuje toto kmitání takových rozměrů, že kmitající částice opouštějí krystalickou mřížku – látka začíná tát. Kromě ztráty krystalizace dochází také ke ztrátě průzračnosti a lesku, mění se v mléčnou nebo světle krémovou látku. Zahříváním nad teplotu zesklnění T_g krystalizuje.

Teplota tání T_m je teplotou, při které mizí poslední krystality krystalického polymeru a polymer přechází do kapalného stavu. Lze ji stanovit např. ze změny objemu, penetrometricky, pozorováním vzorku polarizačním mikroskopem mezi zkříženými hranoly na vyhřívaném stolku (Boetiův mikroskop) apod., který vyjadřuje změnu z pravidelného uspořádání krystalů na neuspořádanou formu taveniny. U krystalických látek se v bodě přechodu mění fyzikální vlastnosti skokem a dochází k němu při přesně definované teplotě.

Vlákna stejného chemického složení dodaná různými výrobci mohou mít různý bod tání. Závisí to jednak na polymeračním stupni, jednak na uspořádání molekul ve vláknech.

Velmi důležitá je odolnost vláken při trvalém zahřívání, teplota žehlení, teplota praní, teplota, při níž se vlákno zabarvuje – žloutne (tab.2). Teplota praní udává optimální teplotu, při níž zůstávají zachovány užité hodnoty výrobku.

Tab.2 Nejdůležitější hodnoty teplot ve °C pro polyesterová vlákna

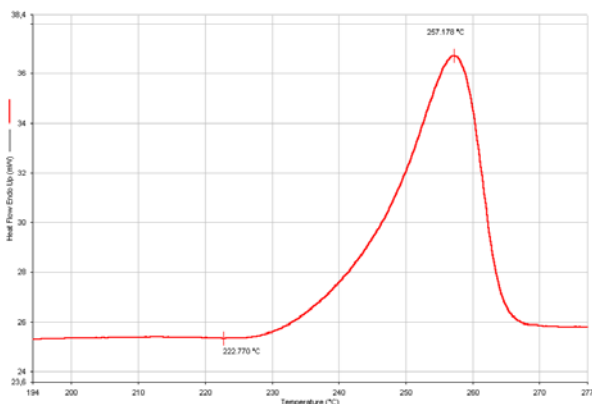
Vlákno	Teplota a tání	Teplota skelného přechodu	Teplota odolnosti při trvalém zahřívání	Teplota praní	Teplota žehlení	Teplota za sucha	Fixování za mokra
Polyester	256	80, 67, 90	140-160	70-100	150-200	190-210	130-135

3.6.1 DSC

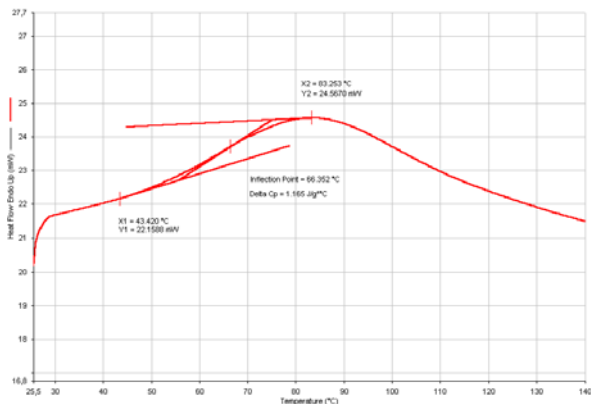
DSC (differential scanning calorimeter) neboli diferenční kompenzační kalorimetrie, kdy sledovanou veličinou je rozdíl teplot mezi vzorkem a referenční látkou. Příkladem využití je měření teplot přechodů (tání, skelný, krystalizace), stupeň krystalinity, entalpie tání, tepelné zabarvení, entalpie síťování a vytvrzování, reakční kinetika aj [16].

Při termoanalytických měřeních obecně vyhodnocujeme dvě charakteristiky termoanalytické křivky:

- a) polohu tepelného procesu (tedy teplotu, při které daný proces probíhá). Obecně můžeme na termoanalytické křivce vyhodnocovat:
- polohu vrcholu píku
 - polohu počátku píku
 - polohu inflexního bodu na ohybu křivky

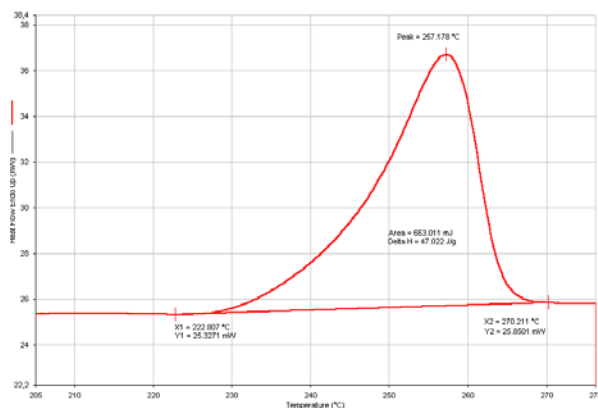


Obr.12 Poloha počátku a vrcholu píku (teplotního efektu)



Obr.13 Poloha inflexního bodu na ohybu křivky

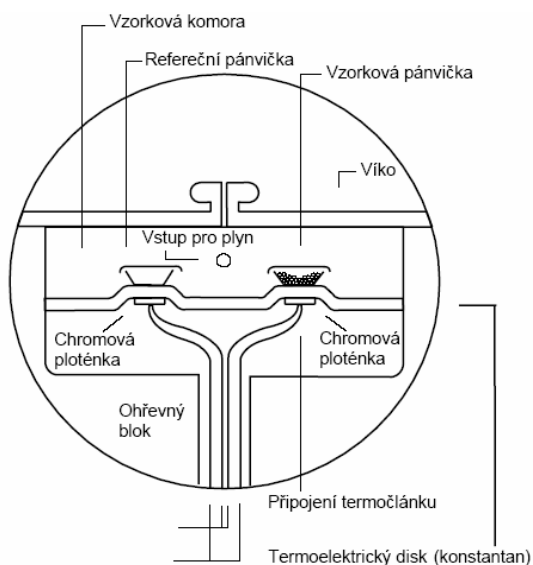
b) plochu píku (která je u DSC úměrná entalpii procesu). Obecně se stanoví integrací plochy pod definovaně stanovenou základnou této plochy. Přístup ke stanovení základny je různý a závisí na účelu a podstatě procesu, který sledujeme.



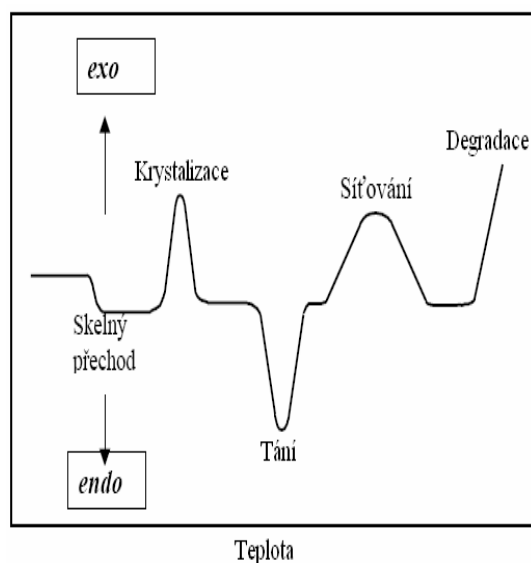
Obr.14 Plocha píku

Při metodě DSC se vzorek podrobuje lineárnímu ohřevu. Rychlost tepelného toku ve vzorku je úměrná okamžitému měrnému teplu a je plynule měřena. Teplota vzorku je udržována izotermní se vzorkem srovnávacím (nebo blokem) a to dodáváním tepla do vzorku srovnávacího. Měří se elektrický příkon potřebný k udržení izotermních podmínek. Použití malých vzorků (miligramová množství), umístěných na kovových foliích, snižuje tepelný spád na minimum. Malá tepelná kapacita celého systému dovoluje použít velké rychlosti ohřevu a zajišťuje velkou rozlišovací schopnost. Množství uvolněného (zabaveného) tepla je tedy úměrné množství

elektrické energie spotřebované na zahřátí vzorku (standardu). Jedná se tedy o kalorimetrickou metodu.



Obr.15 Schéma přístroje pro zkoušku DSC [13]

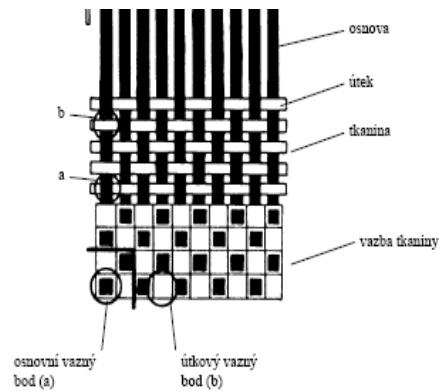


Obr.16 Typická křivka DSC

3.7 Geometrické vlastnosti tkaniny

3.7.1 Vazba, flotáž nitě

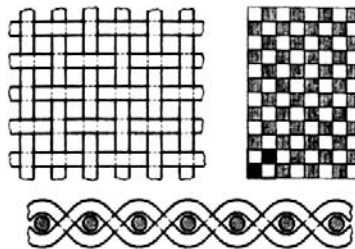
Tkanina je plošná textilie vyrobena ze dvou nebo více soustav nití (podélná soustava nití se nazývá osnova a příčná soustava nití útek). Podle způsobu provázání se rozlišují tři základní vazby a jejich odvozeniny. Každé překřížení osnovní a útkové nitě se nazývá vazný bod. Podle nitě ležící nahoře je osnovní nebo útkový. Na vzornici zakreslujeme osnovní vazní body plně a útkové nezakreslujeme. Střídou vazby je nejmenší část vazby, která se pravidelně opakuje v celé ploše tkaniny a může mít tvar čtverce nebo obdélníku. Armovací tkanina byla utkána ve vazbě plátnové.



Obr.17 Schéma provázání tkaniny [9]

Plátnová vazba

Jedná se o nejjednodušší a zároveň nejpevnější a nejtrvanlivější oboustranná vazba s nejhustším provázáním. Střídá vazby tvoří dvě příze osnovní a dvě útkové. Typické je pravidelné střídání osnovních a útkových vazných bodů [9].



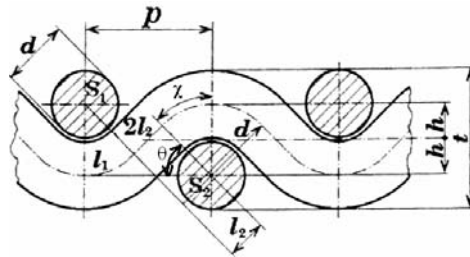
Obr.18 Plátnová vazba – pohled na tkaninu, střídu vazby a příčný řez [12]

3.7.2 Pierceův model

Z prostorových geometrií jde o nejznámější a nejvíce používaný model pro vyjádření provázání nití ve tkanině. Je přijatelný z geometrického hlediska v převážné většině zkoumaných tkanin (obr.19).

Pro stanovení základních matematických rovnic vycházíme z následujících předpokladů:

- průřez nitě v podélném i příčném řezu tkaniny je kruhový , neuvažujeme zploštění ani jedné soustavy nití ve tkanině
- vazná vlna osnovy, resp. útku, je nahrazena obloukem (kružnice a přímka)
- vazná vlna je v plátnové vazbě
- čtvercová ($D_o=D_u$) vyrovnaná (relaxovaná) tkanina



Obr.19 Piercéův model

3.7.3 Dostava, rozteč nití

Dostava tkaniny vyjadřuje počet nití na určitou délku (1 nebo 10 cm), přičemž je definovaná pro každou soustavu nití:

$$D_o \text{ [pn/10 cm]}$$

$$D_u \text{ [pn/10 cm]}$$

Velikost střídy lze charakterizovat počtem osnovních a útkových („ n_o, n_u “). Okolí jednoho zakřížení osnovní a útkové nití je nazváno vazným bodem, nebo-li vaznou buňkou tkaniny. Rozlišujeme skutečnou *rozteč* osnovních a útkových nití („ p_o, p_u “), pro které platí:

$$p_{o,u} \text{ [mm]} = \frac{1}{D_{o,u}} \cdot 10^2 \quad (20)$$

3.7.4 Plošné zakrytí, zaplnění

Zakrytí je parametr, na základě kterého je možné posuzovat některé užité vlastnosti tkaniny (např. prodyšnost). Zakrytí je poměr plochy zakryté nitěmi ku celkové ploše textilie nebo jejího vazného prvku [12]. Zakrytí jednou soustavou nití:

$$z = d_{e_o} \cdot D_o + d_{e_u} \cdot D_u + d_{e_o} \cdot d_{e_u} \cdot D_o \cdot D_u \quad (21)$$

Zaplnění stanovuje poměr objemu nitě k odpovídajícímu objemu plošné textilie:

$$\mu = \frac{V_n}{V_t} = \frac{\pi \cdot (d_{e_o}^2 \cdot L_o + d_{e_u}^2 \cdot L_u)}{4 \cdot p_o \cdot p_u \cdot t} \quad (22)$$

3.7.5 Míra zvlnění, délka nitě ve vazné vlně, výška vlny, setkání

Míru zvlnění ve tkanině „e“ je možné přibližně stanovit užitím jednotlivých fází provázání vycházejících z práce Novika. Ve své práci Novikov zavedl klasifikaci provázání tkaniny podle míry zvlnění obou soustav nití [27].



Obr.20 Fáze provázání e = 0,5

Délku nitě ve vazné vlně L lze popsat pomocí Pierceova modelu, kdy délku úsečky označujeme l_2 , délku oblouku l_1 a úhly θ a χ :

$$l_{2o,u} = \sqrt{p_{u,o}^2 - d_{e_{u,o}}^2} \quad (23)$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{l_{2o,u}}{p_{u,o}} \quad (24)$$

$$\chi = 90 - \theta \quad (25)$$

$$l_{1o,u} = \chi \cdot d_{e_{o,u}} \quad (26)$$

$$L_{o,u} = l_{2o,u} + 2 \cdot l_{1o,u} \quad (27)$$

Výška vazné vlny h je odvozena z Pierceova modelu, její hodnota je vyjádřena pro osnovní vlnu h_o a pro útkovou vlnu h_u :

$$h_o = d_{e_o} \cdot e \quad (28)$$

$$h_u = d_{e_u} \cdot (1 - e) \quad (29)$$

Setkání vyjadřuje zkrácení osnovní či útkové nitě vlivem provázání nití ve tkanině po zatkání. Setkání je definováno zvlášť pro osnovu s_o a zvlášť pro útek s_u . Je ovlivněno mnoha parametry např. mírou zvlnění jednotlivých nití ve tkanině, vazbou (provázanost nití, velikost flotáže), atd.

$$s_{o,u} = \frac{L_{o,u} - p_{u,o}}{p_{u,o}} \cdot 100 \quad (30)$$

3.7.6 Tloušťka, plošná hmotnost

Tloušťka textilie t je kolmá vzdálenost mezi dvěma definovanými deskami, přičemž na textiliu působí tlak [28]. Z Pierceova modelu ji lze jednoduše vyjádřit jako:

$$t = d_{e_o} + d_{e_u} \quad (31)$$

Plošnou hmotnost zjišťujeme vážením vzorků o ploše $0,01 \text{ m}^2$. Ale lze ji vypočítat z hodnot dostav, jemností a setkání nití jednotlivých soustav. Rozlišujeme hmotnost běžného metru M_b tkaniny a hmotnost metru čtverečného M tkaniny.

$$M = \left[D_o \cdot T_o \cdot \left(1 + \frac{s_o}{10^2} \right) + D_u \cdot T_u \cdot \left(1 + \frac{s_u}{10^2} \right) \right] \quad (32)$$

3.8 Mechanické vlastnosti tkaniny

3.8.1 Pevnost, tažnost tkaniny

Pevnost tkaniny F_{TK} je síla, potřebná k porušení textilie jednotkové šířky. Pevnost při namáhání ve směru osnovy nebo útku závisí především na pevnosti odpovídajících nití a na jejich dostavě. Pevnost tkaniny ale neodpovídá pouhému součtu pevností přízí na jednotkovou šířku ve směru namáhání. Vztah mezi pevností nití a tkaniny je korigován koeficientem využití pevnosti nitě ve tkanině $K_{V,P}$. Koeficient zahrnuje vliv materiálu a vazby tkaniny.

$$F_{TK-o,u} = D_{o,u} \cdot F_N \cdot K_{V,P} \quad (33)$$

K hlavním důvodům, vedoucím k neúplnému využití pevnosti nití ve tkanině, patří:

- velký vliv tažnosti a nestejnomyěrnosti nití
- způsob namáhání
- nestejnomyěrnost tkaniny související se setkáním, tzn. nitě s menším setkáním jsou relativně více protaženy a mohou se dříve přetrhnout
- lokální koncentrace napětí při experimentu, která se vyskytuje především v místě upnutí

Tažnost tkaniny ε_{TK} ve směru osnovy či útku je poměr prodloužení zkušební vzorku k jeho výchozí délce, vyjádřený v procentech. Tažnost tkaniny je závislá na tažnosti nitě a způsobu jejího provázání ve tkanině a je korigována koeficientem k_T . Koeficient zahrnuje vliv materiálu a vazby tkaniny.

$$\varepsilon_{TK_{o,u}} = k_T \cdot \left[\frac{(1 + \varepsilon_{P_{o,u}})}{1 + \frac{S_{o,u}}{100}} - 1 \right] \quad (34)$$

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentu bylo zjistit zda se vlastnosti monofilu mění během zatkání. Proto byl měřen monofil původní a monofil vytažený z tkaniny (osnova a útek – stejný materiál). Experiment byl zaměřen na ověření údajů z tab.3. Pro kontrolu byly měřeny geometrické a tepelné vlastnosti vláken (monofil, osnova, útek) a geometrické vlastnosti tkaniny. Hlavní část experimentu byla zaměřena na mechanické vlastnosti vláken a následně tkaniny. Byl zkoumán vliv upínací délky na pevnost a vliv malých vlákenných svazků na pevnost a jeho následné modelování.

Tab.3 Údaje převzaté od výrobce

Dostava	[Do/cm]	$32 \pm 5 \%$
	[Du/cm]	$35 \pm 5 \%$
Velikost oka	osnova [mm]	0,258
	útek [mm]	0,231
Volná plocha	[%]	67
Průměr monofilu	osnova [mm]	$0,055 \pm 0,0025$
	útek [mm]	$0,055 \pm 0,0025$
Jemnost monofilu	[tex]	3,3
Tloušťka tkaniny	[mm]	$0,11 \pm 0,01$
Plošná hmotnost	[g/m ²]	$22,5 \pm 8 \%$
Pevnost min.	osnova [N]	190
	útek [N]	190
Tažnost max.	[%]	45
Vazba		plátno

4.1 Geometrické a tepelné vlastnosti monofilu a tkaniny

4.1.1 Jemnost

Jemnost byla proměřena gravimetrickou metodou dle ČSN EN ISO 1973. Monofil byl odebrán po 5 přadenech dlouhých 100 m. Osnova a útek byli vypáraný z tkaniny. Jejich délka byla určena délkou a šířkou zkoušeného vzorku. Šířka tkaniny byla po odstřížení krajů 0,05 m a její délka byla 0,07 m. Bylo zváženo 20 vzorků (osnovy i útku) po 10 nitech (osnova 20 x 0,7 m, útek 20 x 0,5 m).

Jelikož je tato metoda hodně citlivá na různé vlivy jako jsou: změna klimatických podmínek, špatné odměření délky zkoušeného materiálu (osnova a útek vlivem zatčení jsou zvlněné) aj., mohlo dojít během měření k nepřesnostem.

Proto byl pro kontrolu dle ČSN EN ISO 1973 použit VIBROSKOP (umístěný na katedře KTM), pracující na principu rezonance. Ten je založen na stanovení frekvence, která je závislá na délce kmitající struny (vlákna). Předepnuté vlákno se upne do horní čelisti tak, že posunem dolní čelisti spojené se snímačem kmitů se hledá uzlový bod kmitajícího vlákna. V tomto případě je rozkmit vlákna největší. Monofil, osnova i útek o délce 0,01 m byli změřeni 50 krát.

Měření na vibroskopu přineslo další problém, protože pracuje pouze s kruhovými vlákny, (která nesmí být dutá). Jelikož u osnovy a útku dojde zatčením ke zvlnění, změní se tím tvar jeho průřezu. A dle normy ČSN EN ISO 1973 je uvedena přednost gravimetrické metodě před vibroskopem.

Hodnoty byly otestovány normálním rozdělením a ze získaných dat byly vytvořeny statistické charakteristiky. Výsledky měření jsou zpracované do tab.4. Je zřejmé, že se mění jemnost zkoumaného materiálu před a po zatčením, ale nelze to přesně říci, protože měření není kvalitní. Také je vidět rozdíl ve výsledcích podle použitého metody. Gravimetrická metoda ukazuje, že je nejhrubší osnova a podle vibroskopu je nejhrubší útek. Při porovnání jemnosti monofilu naměřené s jemností monofilu zadanou výrobcem je výsledek z gravimetrické metody statisticky

nevýznamný. Závěrem lze říci, že rozdílné výsledky jemností mohou být také způsobené tím, že nebyl měřen stejný monofil, který byl použit ve tkanině. Z rozdílů jemností mezi osnovou a útkem je možnost uvažovat, že mohl být použit jiný materiál v osnově a jiný v útku.

Tab.4 Hodnoty jemnosti

	monofil [tex]	osnova [tex]	útek [tex]
GRAVIMETRICKY	3,28	3,71	3,58
	<3,21;3,35>	<3,67;3,75>	<3,54;3,62>
VIBROSKOP	3,14	3,23	3,36
	<3,12;3,16>	<3,21;3,25>	<3,38;3,43>
ÚDAJ VÝROBCE	3,3		

4.1.2 Průměr

Průměr monofilu byl změřen dle [27] a bylo odměřeno 500 obrazů. Dále byl změřen průměr osnovy a útku. Parametry byly naměřeny ze sejmutých obrazů vzorků tkaniny. Pět vzorků tkaniny bylo vystřiženo dle [28]. Obraz byl snímán na 20 různých místech každého vzorku. Průměr osnovy i útku byl měřen v místech mimo křížení vazných bodů, aby měření nebylo ovlivněno jejich deformací. Bylo provedeno 160 měření osnovy a útku. Hodnoty byly otestovány normálním rozložením a statisticky vyhodnoceny. Výsledků jsou zpracované do tab.5.

Měření průměru může být zkresleno prací obsluhy (nepřesnost sejmutí délky, kvalita zraku) a také je zde možnost kolísání variability monofilu po cívce. Výsledky ukazují, že průměr materiálu se zatkním zmenší. Důvodem je působení sil na osnovu a útek během tkaní. Následkem dojde k protažení materiálu, což může být způsobeno špatnou fixací původního monofilu. Hodnoty získané experimentem jsou statisticky významné k údajům od výrobce. Ale je zde otázka z jakých míst byly odebírány průměry a jakým způsobem je výrobce měřil. Je zde také potvrzena úvaha o použití rozdílného materiálu pro experiment. Protože průměr monofilu po

zatkání klesl přibližně o 24%. Z čehož plyne, že by se délka osnovy a útku během tkaní prodloužila o 48%, což je nereálné.

Tab.5 Hodnoty průměru

údaj výrobce osnova [mm]	údaj výrobce útek [mm]	monofil [mm]	osnova [mm]	útek [mm]
0,055	0,055	0,0588	0,0446	0,0469
<0,0525;0,0575>	<0,0525;0,0575>	<0,0586;0,0591>	<0,0441;0,0450>	<0,0466;0,0473>

4.1.3 Měrná hmotnost

Existuje vztah (2) (viz. kap.3.4.1) podle něhož byl zvolen další postup, který měl zjistit měrnou hmotnost monofilu, osnovy a útku pyknometrickou metodou dle ČSN 80 0065.

Z tohoto důvodu muselo dojít k odstranění aviváže ze zkoušených vláken. Vzorky o hmotnosti 1 g byly umístěny do uzavíratelných nádob spolu se SYNTAPONEM v poměru 100 ml/g. Nádoby byly vloženy do AHIBA NAUNCE (s infra ohřevem) fy DATACOR (umístěným na KTC) po dobu 20 min a teplotě 90°C. Po té byly vzorky opláchnuty pod tekoucí vodou a volně usušeny.

Pyknometrická metoda byla prováděna rukavicemi, aby nebyl zanesen vliv potu obsluhy. Pyknometr s kapalinou a pyknometr s kapalinou a materiálem byly zváženy 20 x pro každý materiál. Výsledky byly otestovány normálním rozložením a statisticky zpracovány.

Vyšly příliš velké hodnoty hustoty, které neodpovídaly tabulkovému údaji (1380 g/cm^3). Výsledky mohou být zkreslené vlivem špatného měření obsluhy, kolísáním vah, změnou klimatických podmínek v místnosti. Tato metoda je velmi závislá na zkušenostech obsluhy.

4.1.4 Zkoumání povrchu a průřezu vláken

Účelem této zkoušky bylo zkoumání tvaru průřezu polyesteru (kruhový), sledování změny po odstranění aviváže a zjišťování tvaru lomu pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu VEGA TS 5130 (umístěným na KTM) dle [14]. Pro experiment byl použit monofil, osnova a útek.

Příprava vzorků pro zkoumání kruhového tvaru

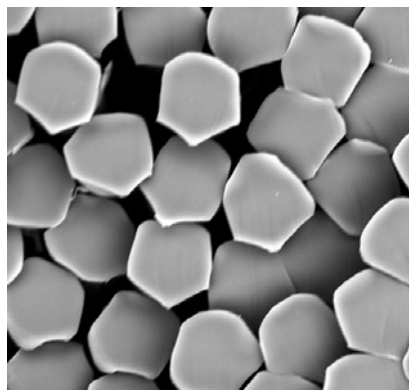
Svazek nahodilého výběru vláken byl pomocí nitě umístěn do úzké bužírky. Která se následně sevřela do čelistí, aby se mohla nařezat na tři 2 mm kousky (pro lepší výběr vzorků). Následovalo pozlacení a vložení do SEM.

Příprava vzorků pro zkoumání povrchu (aviváže)

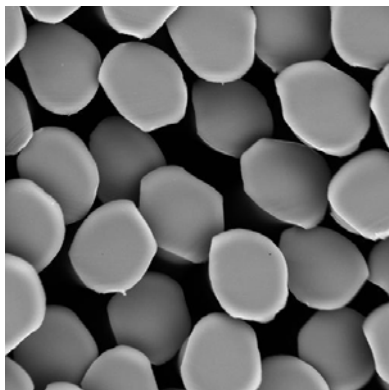
Vlákna byla vybrána nahodile tak, aby vytvořily menší svazek, který byl přilepen k oboustranně lepící pásce přichycené na kruhovém nosiči. Takto připravené vzorky byly pozlaceny a vloženy do pracovní komory SEM.

Příprava vzorků pro zkoumání tvaru lomu

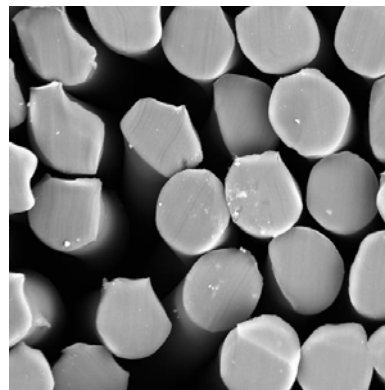
Na kruhový nosič byla přichycena oboustranná lepící páska na niž se nanoslo přetrhnuté vlákno tak, aby lom byl kolmo k pásce. Tato příprava je velice obtížná a vyžaduje určitou zručnost obsluhy. Po té byl vzorek opět pozlacen a vložen do SEM.



Obr.21 Řez monofilem

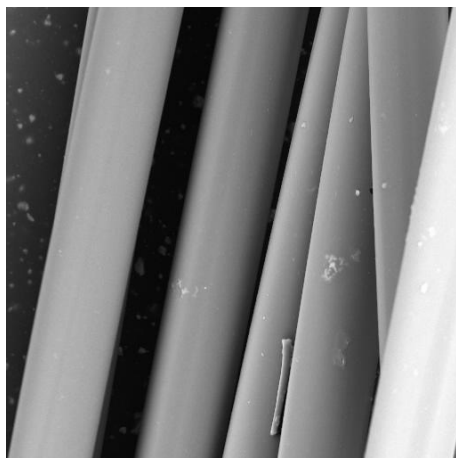


Obr.22 Řez osnovou

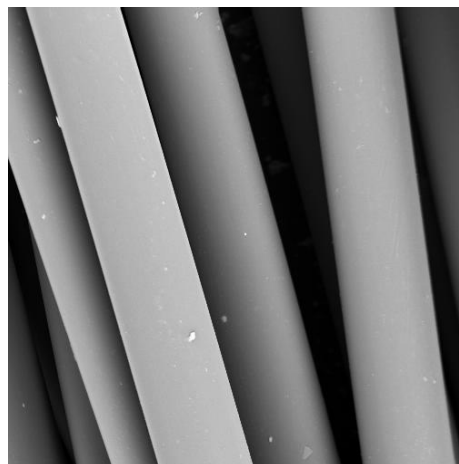


Obr.23 Řez útkem

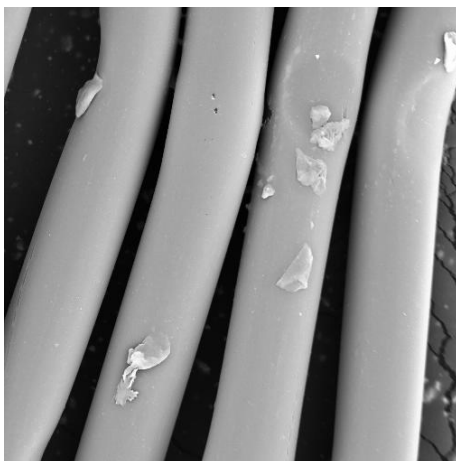
Z obr.21-23 (při zvětšení 500x) byl sledován tvar příčného řezu vláken. Přípravou vzorků mohlo dojít k deformaci zkoumaného materiálu, např. vlivem množství vláken umístěných v bužírce, při uchycení bužírky do čelistí a řez nemusel být proveden dostatečně kolmo a přesně. Proto lze tvary průřezů vláken brát s ohledem na nedostatky metody.



Obr.24 Monofil před odstraněním aviváže



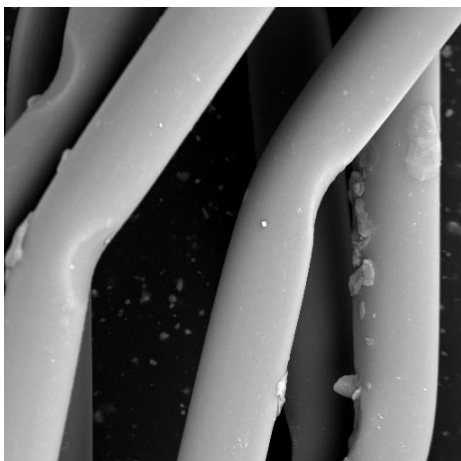
Obr.25 Monofil po odstranění aviváže



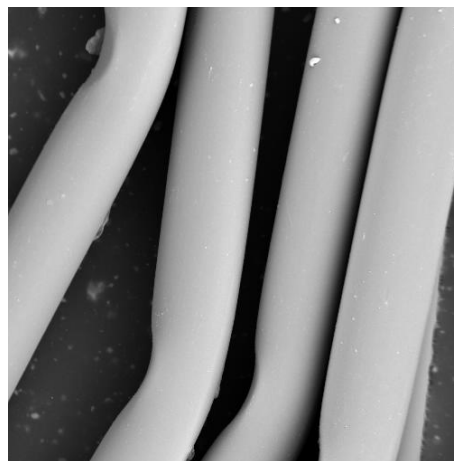
Obr.26 Osnova před odstraněním aviváže



Obr.27 Osnova po odstranění aviváže



Obr.28 Útek před odstraněním aviváže



Obr.29 Útek po odstranění aviváže

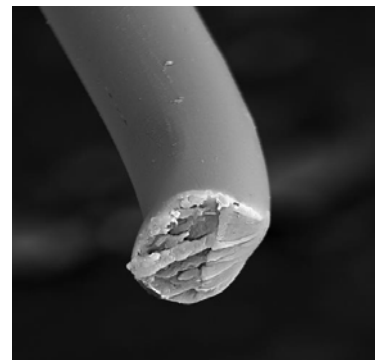
Na obr.24-29 (při zvětšení 500x) je znázorněn monofil, osnova a útek před a po odstranění aviváže. Z obrázků je zřetelná přítomnost aviváže ve všech třech případech. Bohužel i na obrázcích znázorňujících odstranění aviváže je stále zřetelná její přítomnost i když v nepatrném množství. Což mohlo být způsobeno především lidskou chybou (špatným navážením praného materiálu, nepřesností navážení a odměření kapaliny pro tento účel a dále špatným vypráním zbytků saponátu pod tekoucí vodou).



Obr.30 Monofil



Obr.31 Osnova



Obr.32 Útek

Obr.30-32 (při zvětšení 1000x) ukazující tvar lomu (z trhací zkoušky viz kap.4.2). Obrázky nejsou kvalitní pro správné posouzení druhu lomu, což je způsobeno obtížností přípravy vzorku a nezkušeností obsluhy. Na všech snímcích jsou *houževnaté* lomy. Pro tento typ lomu je charakteristické pomalé šíření trhliny způsobující typický V zářez na lomové ploše, který je

doprovázen plastickým kluzem na druhé straně vlákna od V zářezu, což způsobí jeho porušení. K tomuto lomu dochází u většiny syntetických vláken zvláknovaných z taveniny.

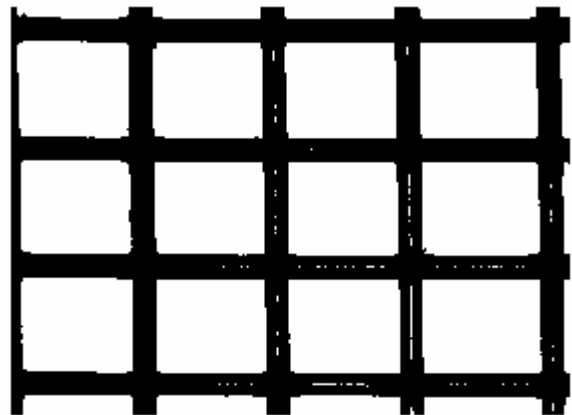
4.1.5 Porozita

Vzorky tkaniny nasnímané obrazovou analýzou v kap. 4.1.2 byly dále použity pro zjištění porozity. Prahování a výpočet zakrytí bylo provedeno pomocí programu Matlab. Vstupem byly barevné obrázky *.bmp a výstupem hodnoty prahu a zakrytí.

Příklad sejmutého vzorku je na obr.33 a odstranění úrovně šedi pomocí Matlabu je znázorněno na obr.34.



Obr.33 Obrázek tkaniny z Lucia v úrovni šedi



Obr.34 Obrázek tkaniny po naprahování

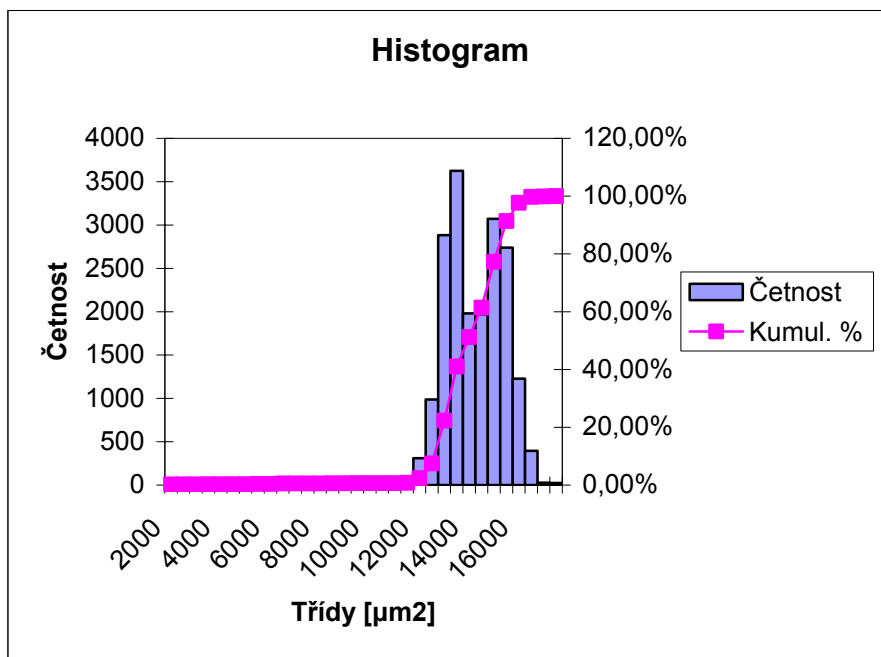
Tab.6 Volná plocha a zakrytí

údaj volné plochy od výrobce	volná plocha	interval spolehlivosti	zakrytí
67	65,394	65,807	34,981
		65,641	

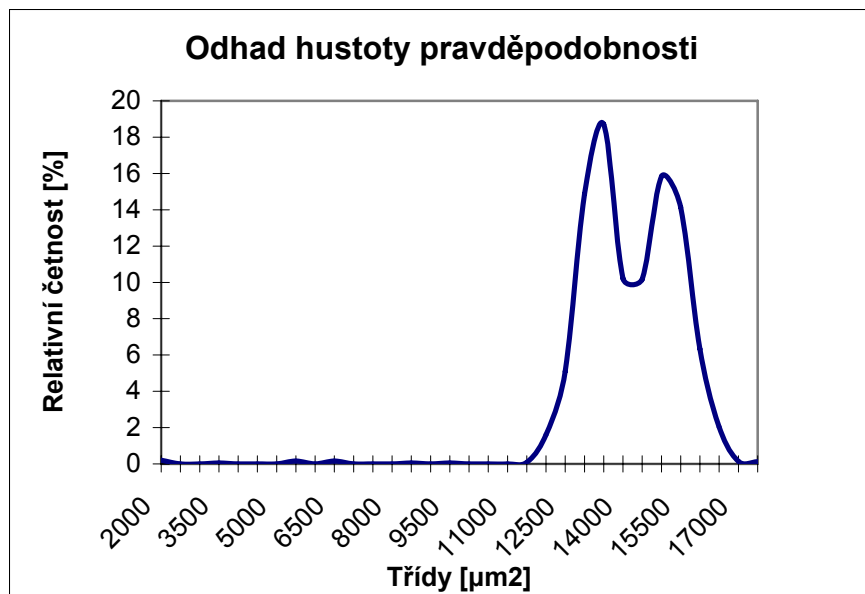
Ze sejmutých obrazů byla dále vypočtena pomocí programu Matlabu volná plocha. Výsledky jsou uvedeny v tab.6. Při porovnání výsledku experimentu s hodnotou od výrobce lze říci, že je statisticky významný.

Obr.35 znázorňuje histogram četnosti výskytu plochy pórů. (V grafu jsou vidět malé sloupce, které znázorňují odlesky a nepodařilo se je odstranit). Obr. 36 zobrazuje rozložení relativních četností výskytu plochy póru.

Z grafů lze posoudit, že velikosti pórů nejsou stejné. Tkanina je tak tvořena nepravidelnými tvary volných ploch. Tento problém bych doporučila řešit již přímo na stavu.



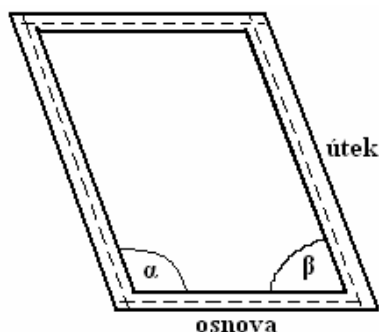
Obr.35 Histogram výskytu pórů



Obr.36 Relativní četnost ploch

4.1.6 Velikost očka a jeho úhly

Snímky z obrazové analýzy z bodů 4.1.2 a 4.1.5 byly také použity pro zjištění velikosti očka (název převzatý od výrobce) a jeho úhlů. Pomocí programu Lucia byla změřena délka nitě v očku 160 x ve směru osnova a 160 x ve směru útek. Následně byly změřeny úhly α , β viz obr.37 (symboly nejsou použity podle matematických pravidel, ale podle pořadí měření). Hodnoty byly otestovány normálním rozložením a statisticky vyhodnoceny. Data byly otestovány při normálním rozložením a statisticky vyhodnoceny. Výsledky jsou zpracované do tab.7.



Obr.37 Tvar očka ve tkanině

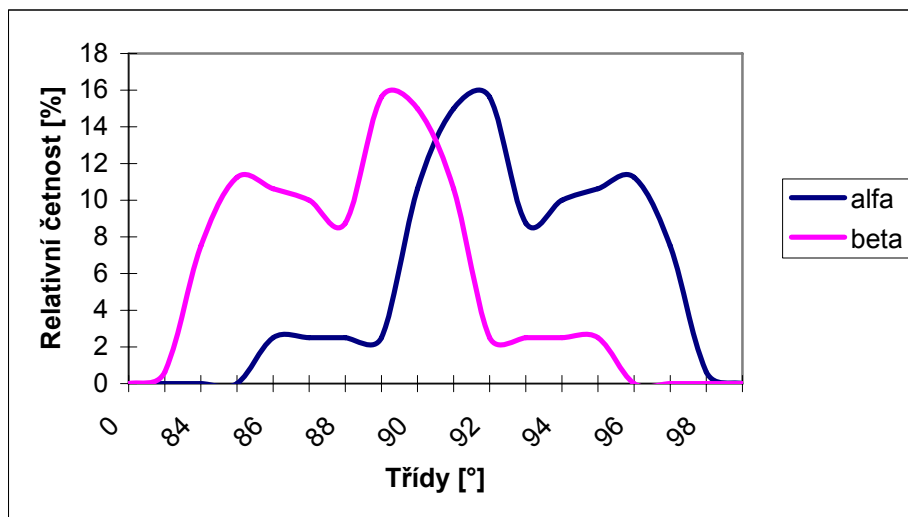
Tab.7 Velikost očka a jeho úhly

údaj velikosti očka od výrobce		naměřená velikost očka	
osnova [mm]	útek [mm]	osnova [mm]	útek [mm]
0,258	0,231	0,1879	0,2234
		<0,1869;0,1894>	<0,2228;0,2245>
požadované úhly očka [°]		naměřené úhly očka [°]	
α	90	α	92,218
			<91,785;92,651>
β	90	β	87,782
			<87,349;88,915>

Výrobce předpokládá a zároveň požaduje pravidelný (obdélníkový) tvar očka ve tkanině. Z naměřených výsledků byl zjištěn tvar kosodélníkový. Ale během měření se mohla vyskytnout nepřesnost, která by byla zapříčiněna obsluhou (zrak, špatné ohraničení vzdáleností).

Délka osnovní nitě v očku je statisticky významná v porovnání s hodnotou od výrobce. Délka útkové nitě vyšla statisticky nevýznamná. Úhly jsou statisticky nevýznamné, ale není zde splněn požadavek pravých úhlů. Relativní četnost výskytu úhlů ukazuje obr.38.

K odstranění nežádoucího efektu (posuvů nití ve tkanině) bych doporučila jejich hlídání již přímo na tkacím stroji.



Obr.38 Odhad hustoty pravděpodobnosti úhlů α , β

4.1.7 Tepelné vlastnosti

Pro zjišťování termických vlastností byl použit přístroj DSC 6 fy Perkin Elmer (umístěný na KTM). Materiál, z něhož byla odstraněna aviváž (viz kap.4.1.3) byl nastříhán přibližně na úseky dlouhé 1 mm a vložen do hliníkové měřicí pánvičky, která byla předem zvážena na laboratorních vahách. Po vložení materiálu do pánvičky a zalisování byla opět zvážena. Rozdíl byl zaznamenán do vstupních parametrů DSC 6. Optimální hmotnost vzorku je 10 mg.

Zadávaný program:

- 1) Hold for 1 min at 30°C
- 2) Heat from 30°C to 290°C at 15°C/min
- 3) Cool from 290°C to 30°C at 15°C/min

Z experimentu byly získány záznamy křivek tepelného toku v závislosti na teplotě. Teplotní změny byly vyhodnoceny pomocí počítače v programu Pyris – data Analysis.

Pík studené krystalizace, tání a tuhnutí byl vyhodnocen funkcí calc → peak area. Kdy dvě svíslé čáry se umístily na začátek a konec píku. Poté se zvolila funkce calculate a pík byl programem vyhodnocen.

U monofilu byla vyhodnocena teplota fixace. Tento pík se vyhodnotil protnutím dvou tečen, kdy byla navolena funkce calc → onset. Po překřížení tečen došlo k vyhodnocení.

Z grafů (viz. příloha č.5) bylo ověřeno, že zkoumaným materiálem je ve všech případech (monofil, osnova, útek) polyester. Čemuž odpovídají hodnoty píku tání a tuhnutí. Na grafu monofilu se objevil pík rekrystalizace, který vyjadřuje teplotu fixace. Jsou vidět dvě hodnoty a to 125 °C a 169 °C.

4.1.8 Tloušťka, plošná hmotnost a dostava

Tloušťka byla měřena dle [28], ze sedmi různých vzorcích a na dvou různých místech vzorku. Vzorky byly odebrány dle [29] příloha A. Naměřené hodnoty byly otestovány při normálním rozložení a statisticky zpracované. Výsledky jsou znázorněny v tab.8.

Rozdíl je statisticky významný mezi naměřenou hodnotou tloušťky a údajem od výrobce. Z hodnot plyne, že naměřená tloušťka zkoušené tkaniny byla menší, než tloušťka tkaniny zadaná výrobcem. Porovnání naměřeného výsledku a vypočteného je statisticky nevýznamné.

Tab.8 Tloušťka tkaniny

údaj tloušťky od výrobce[mm]	naměřená tloušťka [mm]	vypočtená tloušťka z naměřených údajů průměru [mm]
0,11	0,094	0,0915
<0,10;0,12>	<0,09;0,097>	<0,0907;0,0923>

Plošná hmotnost byla stanovena gravimetrickou metodou dle ČSN 80 0845. Hodnoty byly statisticky zpracované a výsledek je znázorněn do tab.9. Naměřené hodnoty jsou od údajů výrobce statisticky nevýznamné. Rozdíly mohly být způsobeny nepřesností ustřížení vzorku, nepřesností vah, klimatickými podmínkami.

Tab.9 Plošná hmotnost

$M_{\text{zadané údaje výrobcem}} [\text{g/m}^2]$	$M_{\text{naměřené}} [\text{g/m}^2]$
22,5	22,94
<20,7;24,3>	<22,7;23,18>

Dostava byla proměřena dle ČSN EN 1049-2 po osnově a útku pomocí lupy, pravítka a jehly. Další hodnoty byly získávány při přípravě vzorků na trhací zkoušky (viz kap.4.2). Hodnota dostavy se během měření neměnila (odchylka byla nulová). Získané výsledky odpovídají údajům zadaným výrobcem.

Tab.10 Dostava

údaj od výrobce [Do/cm]	údaj od výrobce [Du/cm]	experiment [Do/cm]	experiment [Du/cm]
32	35	32	35

4.2 Mechanické vlastnosti monofilu a tkaniny

4.2.1 Trhací zkouška – vlákna

Zkoušky byly prováděny na trhacím přístroji Instron (umístěným na KTT) dle [26]. K upnutí vzorku byly použity čelisti pro příze. Rychlost pohybu čelistí byla zvolena tak, aby doba trhu byla 20 ± 3 s. Předpětí bylo voleno podle jemnosti.

U vláken (monofil, osnova, útek) byl sledován vliv malých vlákenných svazků (1-10) na pevnost s upínací délkou 200 mm. Kromě toho byl studován vliv pevnosti na malé vlákenné svazky (1-10) u monofilu na upínací délce 500 mm. Měření byla otestovaná normálním rozložením a statisticky zpracovaná tak, aby zůstalo 50 hodnot. Statisticky vyloučené hodnoty byly pro všechny případy zanedbány.

Monofil na upínací délce 200 mm byl dále trhán ve větších vlákenných svazcích (20, 30, 40, 50). Měření je orientační, protože bylo vyhodnoceno pouze 5 statisticky otestovaných hodnot. Během měření docházelo k prokluzům materiálu.

Nakonec byl sledován vliv upínací délky (10, 100, 200, 300, 400 a 500 mm) monofilu. Měření bylo statisticky zpracováno a vybráno 50 hodnot. Statisticky vyloučené hodnoty byly zanedbány.

Kromě statistického zpracování v programu QC.Expert, byl použit pro další zpracování MATLAB, v němž byly vyhodnoceny tahové křivky (viz. příloha č.1).

V Matlabu byl také použit program pro stanovení statistického chování svazkové pevnosti vláken. Program je založen na generování z $j=1..B$ (obvykle $B=100$) náhodně vybraných pevností $F(L_j)$ a k jim odpovídajícího odhadu $L_B(j)$ (viz kap.3.5.3 čtvrtý předpoklad). Tyto hodnoty jsou dále použity k vytvoření distribučních funkcí (histogramů s optimalizovanou šířkou intervalů) a výpočtu jádrového odhadu [17] svazkové pevnosti vláken, průměrné hodnoty ze všech $L_B(j)$, variačního koeficientu pevnosti vlákenného svazku, směrodatné odchylky ze všech hodnot $L_B(j)$ a využití pevnosti ve vlákenném svazku (viz. příloha č.3, 4).

Byla sledována rychlost čelistí [mm/min], poměrná pevnost [N/tex], tažnost [%], práce [J], Youngův modul [N/mm], čas [s], deformační rychlost v_{def} [mm/s].

$$v_{def} = \frac{\Delta l}{(l_o \cdot t)} \quad (35)$$

Tab.11-14 ukazuje hodnoty získané z měření malých vlákenných svazků. Tab.15 prezentuje výsledky z měření větších vlákenných svazků.

Z naměřených hodnot malých vlákenných svazků byla provedena simulace podle kap.3.5.3. Výsledky získané z experimentu a ze simulace jsou znázorněny v obr.39. Ten ukazuje graf závislosti pevnosti jednoho vlákna v [N] na počet vláken ve svazku. Data získaná z experimentu jsou značeny \diamond a hodnoty získané simulací jsou značeny \square .

Jelikož graf na obr.39 není dostatečně zřetelný. Byly pro názornost vytvořeny obr.40-43, které znázorňují grafy jednotlivých měření, simulací a využití pevností samostatně (monofil, osnova, útek na upínací délce 200 mm a monofil na upínací délce 500 mm).

Tab.11 Parametry monofilu na upínací délce 200 mm

Počet vláken ve svazku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rychlost [mm/min]	170	155	125	150	125	155	125	145	150	150
Poměrná pevnost [N/tex]	0,386	0,357	0,348	0,356	0,345	0,352	0,348	0,353	0,347	0,36
95% IS	0,383 0,389	0,355 0,359	0,347 0,349	0,354 0,358	0,343 0,346	0,348 0,356	0,347 0,349	0,35 0,356	0,346 0,349	0,357 0,362
Tažnost [%]	30,438	24,628	20,799	25,012	20,782	23,997	20,663	24,336	21,691	25,331
95% IS	29,693 31,182	24,112 25,144	20,472 21,125	24,497 25,666	20,476 21,089	23,064 24,93	20,362 20,964	23,603 25,068	21,192 22,189	24,735 25,927
Práce [J]	0,062	0,091	0,115	0,186	0,189	0,265	0,266	0,358	0,356	0,471
95% IS	0,06 0,064	0,089 0,094	0,112 0,117	0,181 0,191	0,186 0,193	0,252 0,277	0,261 0,271	0,345 0,371	0,347 0,365	0,457 0,486
Youngův modul [N/mm]	0,119	0,312	0,488	0,628	0,79	0,896	1,153	1,2	1,243	0,95
95% IS	0,115 0,123	0,307 0,317	0,479 0,496	0,616 0,641	0,776 0,805	0,865 0,926	1,138 1,168	1,161 1,239	1,181 1,304	0,925 0,974
Čas [s]	20,191	19,573	20,024	19,971	19,921	20,42	19,926	20,102	20,693	20,179
95% IS	19,694 20,688	19,157 19,99	19,696 20,352	19,506 20,436	19,622 20,219	19,999 20,841	19,616 20,235	19,693 20,512	20,289 21,097	19,698 20,659
Deformační rychlost [mm/s]	0,0151	0,0126	0,0104	0,0126	0,0104	0,0117	0,0104	0,0121	0,0105	0,0126
95% IS	0,0149 0,0153	0,0123 0,0129	0,0103 0,0105	0,0125 0,0127	0,0104 0,0105	0,0115 0,0119	0,0103 0,0104	0,0117 0,0125	0,0103 0,0106	0,0125 0,0126

Tab.12 Parametry osnovy na upínací délce 200 mm

Počet vláken ve svazku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rychlost [mm/min]	150	150	150	160	160	160	150	170	160	180
Poměrná pevnost [N/tex]	0,388	0,384	0,373	0,375	0,374	0,373	0,374	0,372	0,370	0,381
95% IS	0,387 0,389	0,382 0,385	0,371 0,375	0,374 0,377	0,373 0,375	0,372 0,375	0,373 0,375	0,371 0,373	0,371 0,373	0,378 0,383
Tažnost [%]	25,448	26,125	26,257	27,432	27,243	27,459	27,278	27,723	27,470	27,498
95% IS	24,967 25,930	25,672 26,577	25,757 26,757	27,078 27,786	26,874 27,611	26,992 27,927	26,970 27,586	27,400 28,046	27,144 27,796	27,187 27,810
Práce [J]	0,057	0,112	0,158	0,221	0,269	0,322	0,378	0,429	0,483	0,542
95% IS	0,056 0,058	0,109 0,114	0,154 0,162	0,217 0,225	0,264 0,274	0,315 0,329	0,372 0,384	0,423 0,436	0,473 0,492	0,533 0,552
Youngův modul [N/mm]	0,044	0,088	0,138	0,195	0,250	0,321	0,351	0,374	0,464	0,545
95% IS	0,043 0,045	0,086 0,090	0,132 0,144	0,187 0,203	0,244 0,257	0,314 0,328	0,337 0,366	0,261 0,488	0,455 0,473	0,521 0,570
Čas [s]	20,271	20,790	20,970	20,460	20,206	20,502	21,746	19,471	20,516	18,538
95% IS	19,882 20,660	20,426 21,155	20,579 21,362	20,199 20,721	19,920 20,492	20,154 20,851	21,498 21,994	19,242 19,699	20,266 20,765	18,307 18,769
Deformační rychlost [mm/s]	0,0126	0,0126	0,0125	0,0134	0,0135	0,0134	0,0125	0,0142	0,0134	0,0148
95% IS	0,0125 0,0126	0,0125 0,0126	0,0124 0,0126	0,0134 0,0134	0,0134 0,0136	0,0134 0,0134	0,0125 0,0126	0,0142 0,0143	0,0134 0,0134	0,0147 0,0150

Tab.13 Parametry útku na upínací délce 200 mm

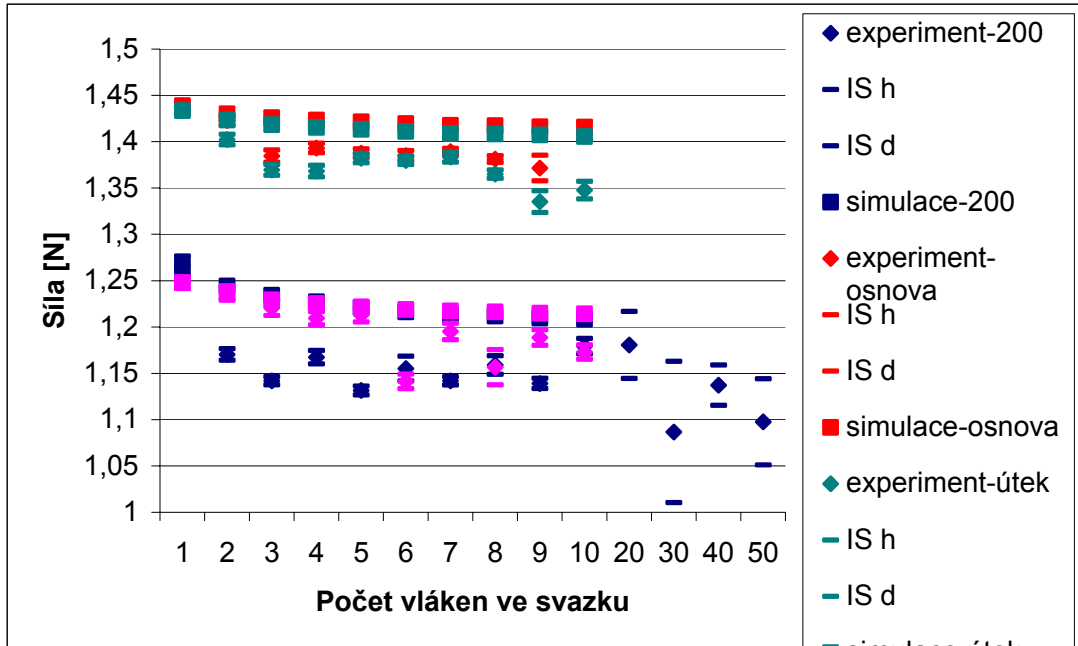
Počet vláken ve svazku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rychlost [mm/min]	150	160	160	160	175	175	180	150	150	155
Poměrná pevnost [N/tex]	0,400	0,392	0,383	0,382	0,386	0,385	0,386	0,381	0,373	0,376
95% IS	0,399 0,402	0,390 0,393	0,381 0,384	0,380 0,384	0,385 0,387	0,384 0,387	0,385 0,388	0,380 0,383	0,370 0,376	0,374 0,379
Tažnost [%]	24,140	27,490	25,893	25,054	27,554	29,315	29,135	26,769	25,329	25,555
95% IS	23,660 24,620	26,966 28,014	25,355 26,430	24,634 25,474	27,074 28,033	28,902 29,728	28,571 29,699	26,422 27,117	24,720 25,938	25,031 26,079
Práce [J]	0,052	0,116	0,152	0,196	0,268	0,333	0,391	0,401	0,419	0,476
95% IS	0,050 0,055	0,113 0,119	0,148 0,156	0,192 0,200	0,261 0,275	0,327 0,340	0,381 0,401	0,394 0,409	0,404 0,434	0,460 0,491
Youngův modul [N/mm]	0,031	0,066	0,107	0,139	0,181	0,257	0,289	0,314	0,356	0,389
95% IS	0,029 0,033	0,063 0,068	0,104 0,110	0,128 0,151	0,171 0,190	0,254 0,260	0,277 0,302	0,307 0,322	0,346 0,366	0,380 0,399
Čas [s]	19,043	20,574	19,413	18,905	18,961	20,156	19,426	20,988	20,263	20,002
95% IS	18,631 19,454	20,177 20,972	19,001 19,825	18,517 19,293	18,587 19,334	19,821 20,491	19,038 19,815	20,628 21,348	19,792 20,735	19,551 20,453
Deformační rychlost [mm/s]	0,0127	0,0134	0,0133	0,0133	0,0146	0,0146	0,0150	0,0128	0,0125	0,0128
95% IS	0,0126 0,0128	0,0131 0,0136	0,0133 0,0134	0,0132 0,0133	0,0144 0,0147	0,0144 0,0147	0,0149 0,0151	0,0126 0,0130	0,0123 0,0128	0,0126 0,0130

Tab.14 Parametry monofilu na upínací délce 500 mm

Počet vláken ve svazku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rychlost [mm/min]	350	380	385	385	390	305	355	325	335	340
Poměrná pevnost [N/tex]	0,380	0,377	0,372	0,369	0,37	0,348	0,364	0,353	0,362	0,358
95% IS	0,379 0,382	0,375 0,379	0,37 0,375	0,367 0,371	0,367 0,372	0,345 0,35	0,362 0,367	0,347 0,358	0,36 0,365	0,355 0,36
Tažnost [%]	22,628	25,749	25,884	25,37	25,407	21,387	24,185	21,935	22,203	22,06
95% IS	22,159 23,097	25,258 26,24	25,301 26,467	24,404 26,339	24,856 25,958	20,939 21,834	23,56 24,81	21,42 22,449	21,704 22,702	21,551 22,569
Práce [J]	0,110	0,252	0,375	0,493	0,613	0,58	0,804	0,805	0,944	1,018
95% IS	0,106 0,113	0,246 0,258	0,365 0,386	0,48 0,506	0,595 0,631	0,563 0,6	0,478 0,83	0,777 0,833	0,917 0,971	0,0991 1,046
Youngův modul [N/mm]	0,039	0,118	0,173	0,23	0,28	0,314	0,401	0,481	0,563	0,616
95% IS	0,037 0,042	0,115 0,121	0,17 0,176	0,226 0,235	0,273 0,286	0,3 0,328	0,393 0,409	0,47 0,491	0,555 0,571	0,591 0,64
Čas [s]	19,098	20,246	19,944	20,039	19,609	20,991	19,584	19,403	19,961	19,807
95% IS	18,654 19,542	19,858 20,634	19,49 20,397	19,626 20,452	19,195 20,024	20,517 21,466	19,066 20,101	18,952 19,854	19,421 19,501	19,365 20,25
Deformační rychlost [mm/s]	0,0119	0,0127	0,013	0,0129	0,013	0,012	0,0124	0,0113	0,0112	0,0111
95% IS	0,0118 0,0119	0,0127 0,0127	0,0128 0,0132	0,0129 0,0129	0,0129 0,0131	0,0101 0,0103	0,0121 0,0127	0,0111 0,0115	0,0109 0,0115	0,0111 0,0112

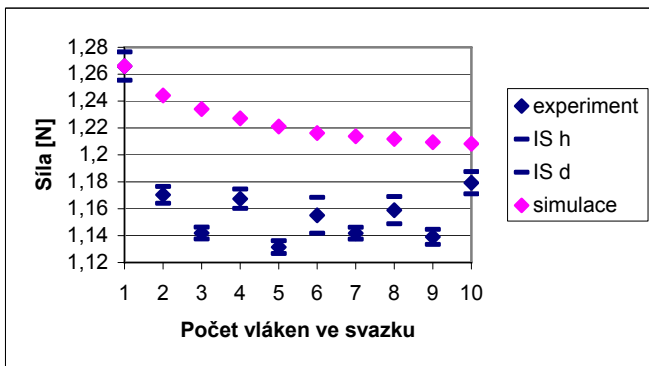
Tab.15 Parametry větších svazků monofil na upínací délce 200 mm

Počet vláken ve svazku	10	20	30	40	50
Rychlost [mm/min]	150	200	150	150	150
Poměrná pevnost [N/tex]	0,36	0,36	0,331	0,347	0,335
95% IS	0,357 0,362	0,349 0,371	0,308 0,355	0,34 0,353	0,32 0,349
Tažnost [%]	25,331	30,695	26,98	25,313	24,734
95% IS	24,735 25,927	29,925 31,465	26,163 27,797	24,005 26,621	23,238 26,23
Práce [J]	0,471	1,138	1,392	2,01	2,154
95% IS	0,457 0,486	1,089 1,187	1,351 1,433	1,827 2,192	1,964 2,345
Youngův modul [N/mm]	0,95	2,033	3,397	4,473	5,545
95% IS	0,925 0,974	1,866 2,2	3,08 3,714	4,23 4,717	5,18 5,91
Čas [s]	20,179	18,892	20,516	19,22	20,794
95% IS	19,698 20,659	17,848 19,936	19,69 21,342	18,213 20,227	19,698 21,89
Deformační rychlost [mm/s]	0,0126	0,0163	0,0132	0,0132	0,0119
95% IS	0,0125 0,0126	0,0157 0,0168	0,0131 0,0133	0,0128 0,0136	0,0117 0,0121

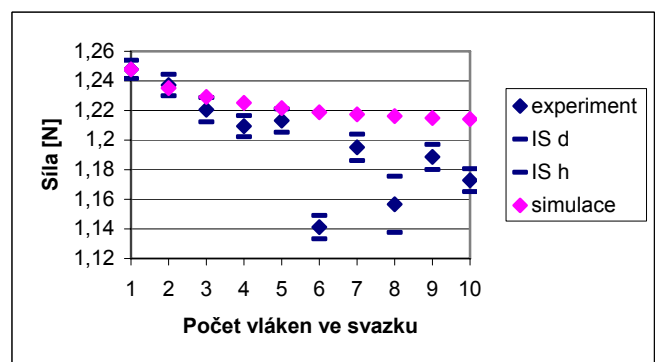


Obr.39 Závislost pevností jednoho vlákna na počtu vláken ve svazku (experiment \diamond , simulace \square)

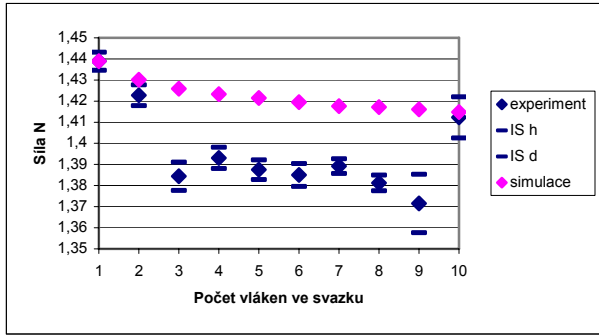
Obr.44-47 ukazují grafy variačního koeficientu, směrodatné odchylku, využití pevnosti na vlákno a směrodatnou odchylku. Modrá barva křivky znamená výsledky experimentu a červená barva křivky znázorňuje nasimulované hodnoty



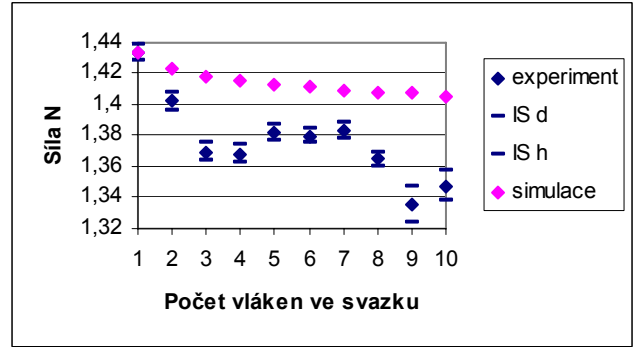
Obr.40 Závislost pevností jednoho monofilu na počtu vláken ve svazku při upínací délce 200 mm



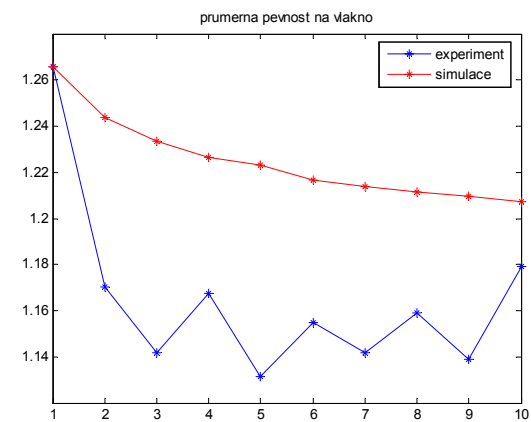
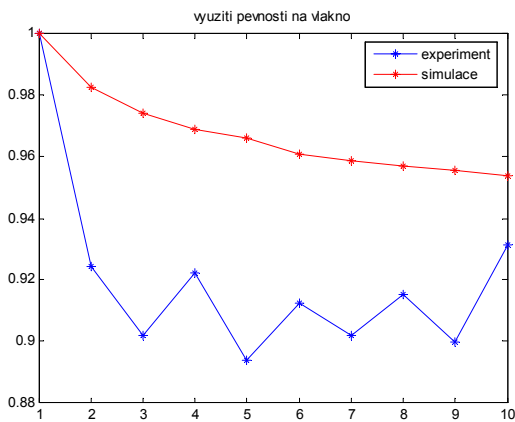
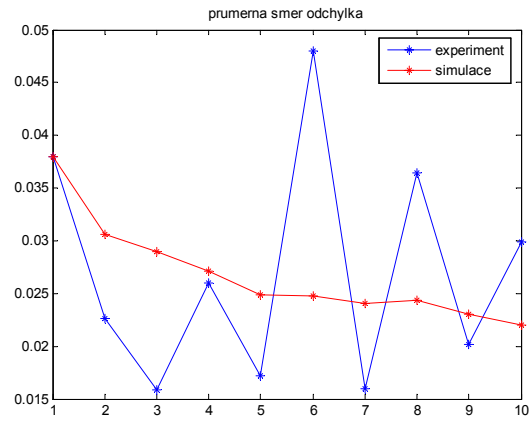
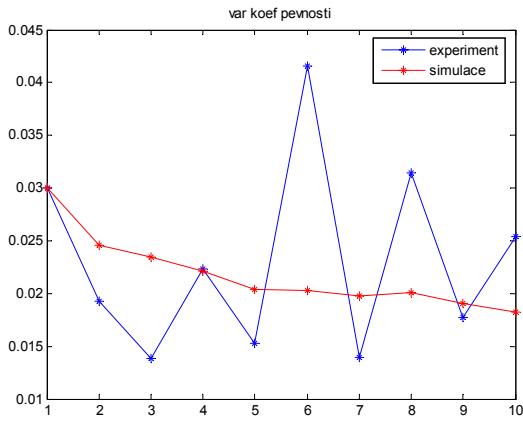
Obr.41 Závislost pevností jednoho monofilu na počtu vláken ve svazku při upínací délce 500 mm



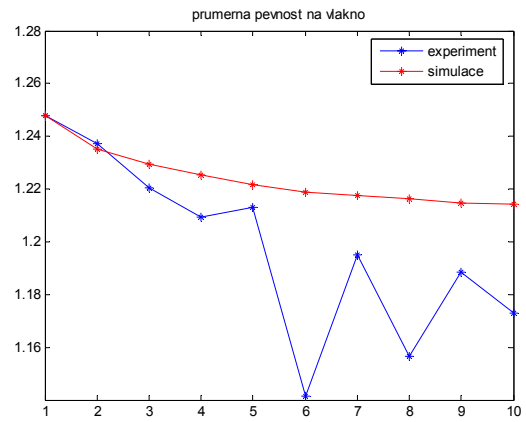
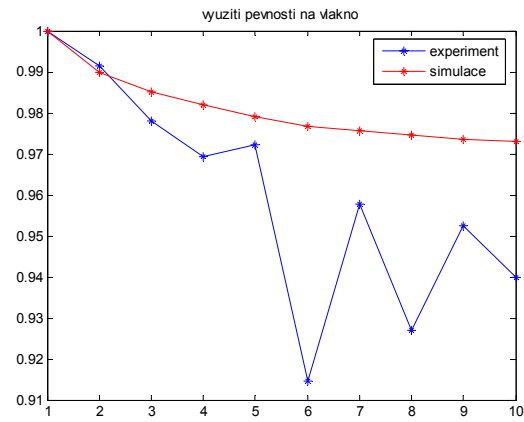
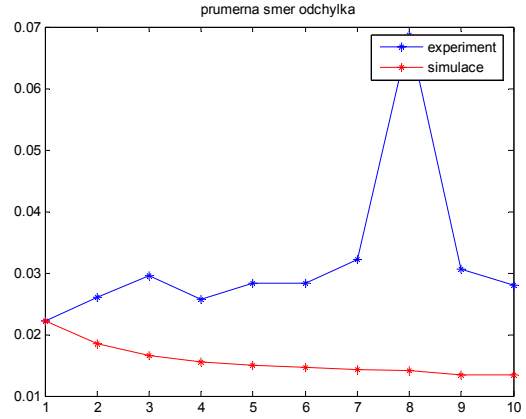
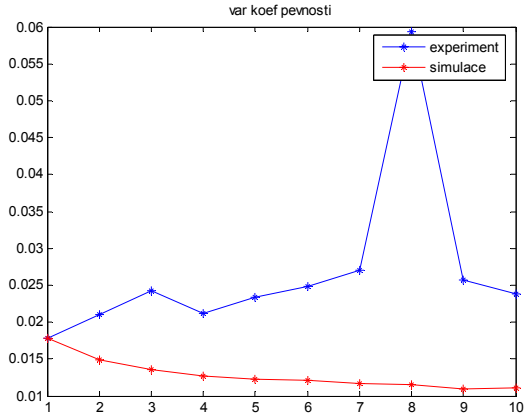
Obr.42 Závislost pevností jednoho osnovy na počtu vláken ve svazku při upínací délce 200 mm



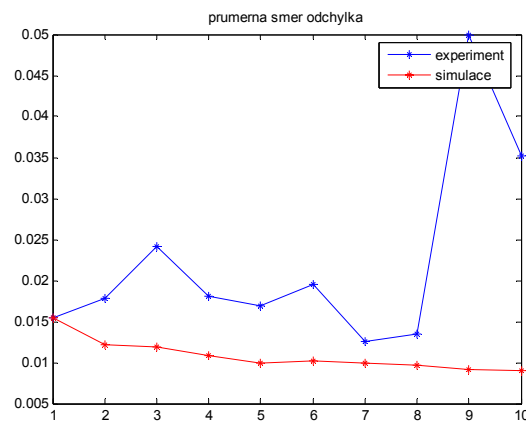
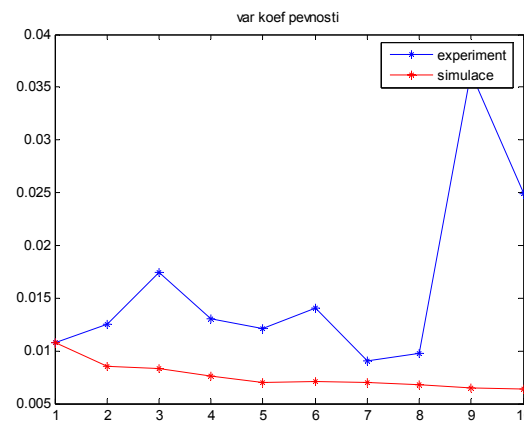
Obr.43 Závislost pevností jednoho útku na počtu vláken ve svazku při upínací délce 200 mm

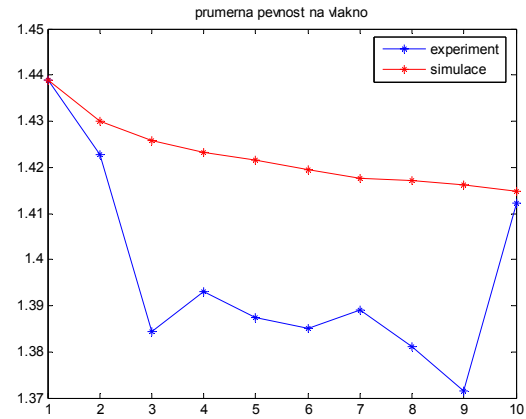
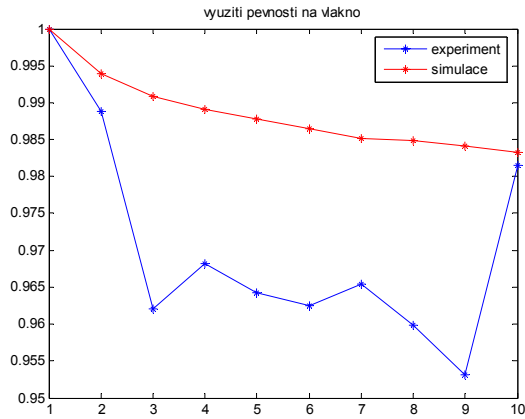


Obr.44 Grafy statistického vyhodnocení experimentu a simulace svazkové pevnosti monofilu na upínací délce 200 mm

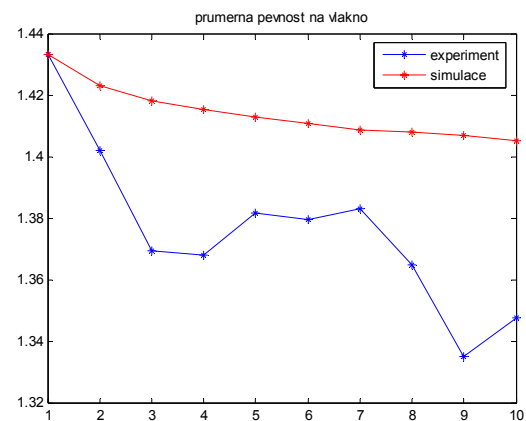
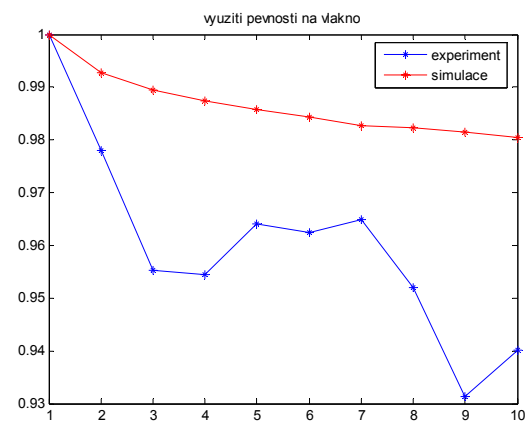
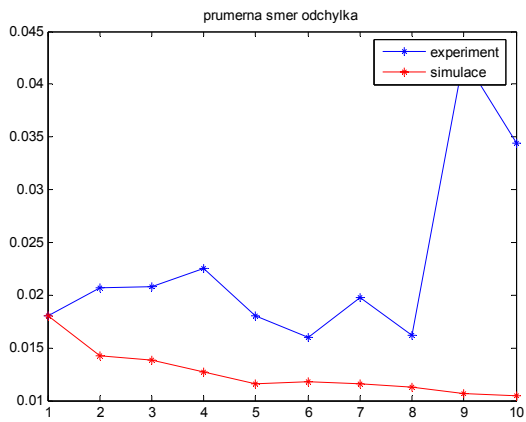
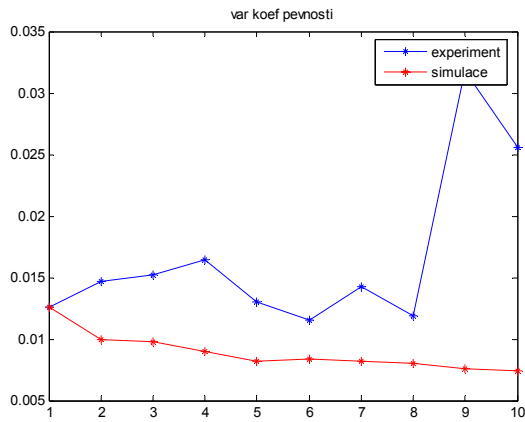


Obr.45 Grafy statistického vyhodnocení experimentu a simulace svazkové pevnosti monofilu na upínací délce 500 mm



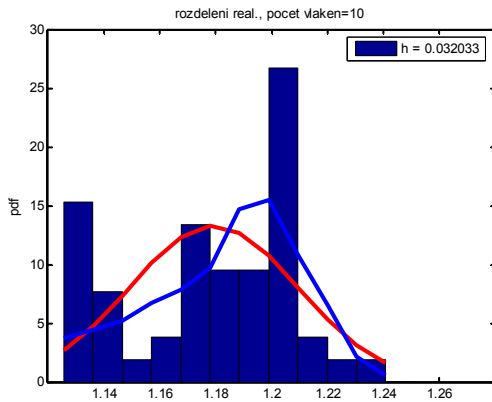


Obr.46 Grafy statistického vyhodnocení experimentu a simulace svazkové pevnosti osnovy na upínací délce 200 mm

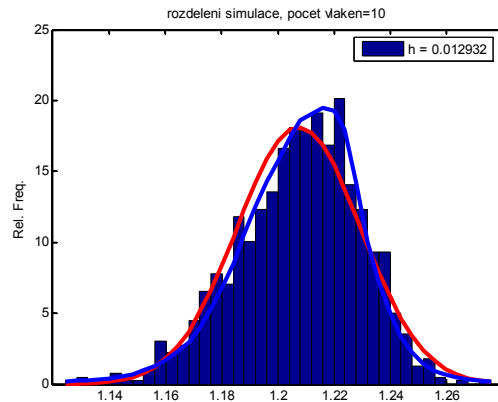


Obr.47 Grafy statistického vyhodnocení experimentu a simulace svazkové pevnosti útku na upínací délce 200 mm

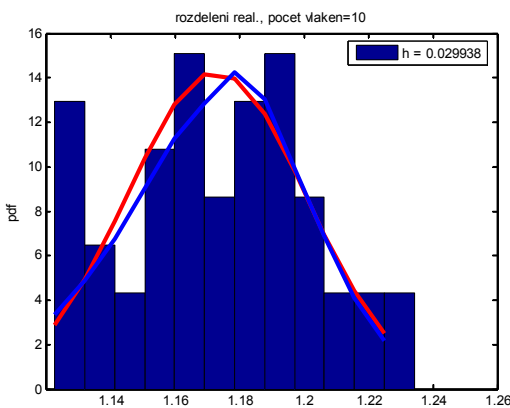
Na obr.48-55 jsou pomocí histogramu znázorněny příklady četnosti pevností. Kdy liché obrázky znázorňují experiment a sudé obrázky jsou vyjádřené z nasimulovaných hodnot. Červená křivka znázorňuje normální rozložení a modrá křivka ukazuje tvar jádrového odhadu pravděpodobnosti [17].



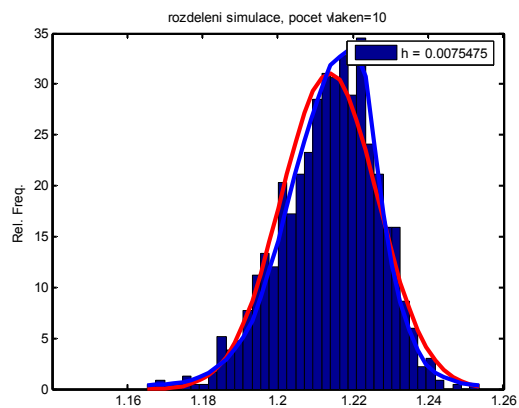
Obr.48 Experiment monofilu na upínací délce
200 mm



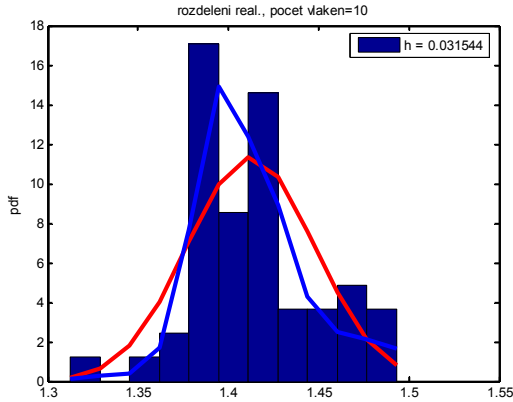
Obr.49 Simulace monofilu na upínací délce
200 mm



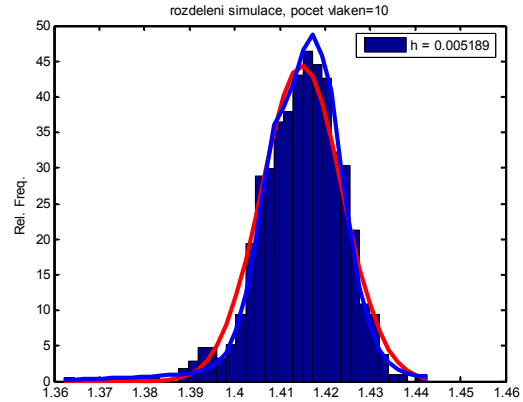
Obr.50 Experiment monofilu na upínací délce
500 mm



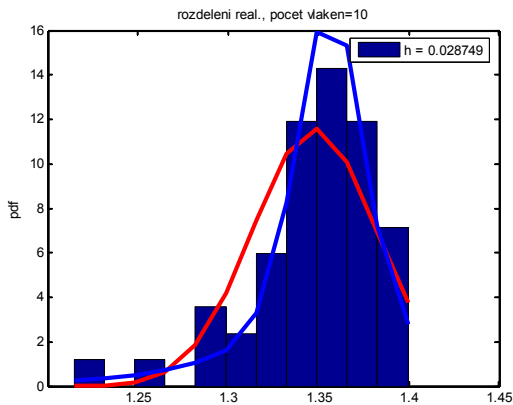
Obr.51 Simulace monofilu na upínací délce
500 mm



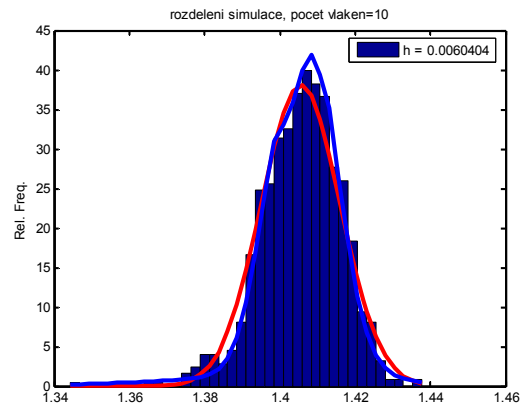
Obr.52 Experiment osnovy na upínací délce
200 mm



Obr.53 Simulace osnovy na upínací délce 200
mm



Obr.54 Experiment útku na upínací délce 200
mm



Obr.55 Simulace útku na upínací délce 200
mm

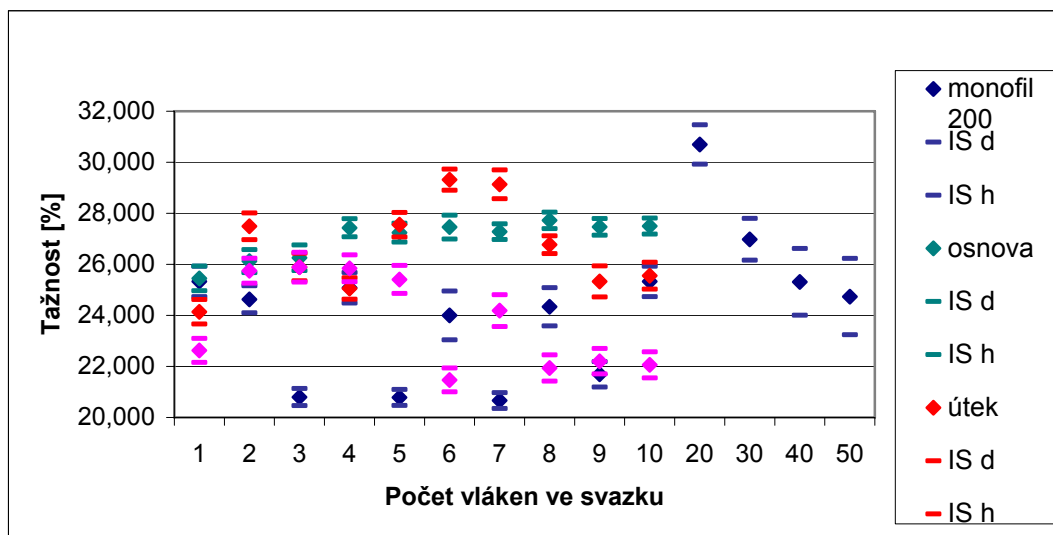
Simulace byla provedena jenom pro malé vlákenné svazky. Z grafů uvedených viz výše vyplývá, že pevnost vyjádřena z nasimulovaných hodnot vyšla vyšší než pevnost vyjádřena z experimentu. Je to důsledkem toho, že experiment nesplňuje předpoklady uvedené v kap.3.5.3. Dalším důvodem by mohlo být, že při simulaci pevnosti vlákenných svazků nebyla uvažována korelace mezi silou a tažností.

Dále lze říci, že s rostoucím počtem vláken ve svazku pevnost klesá. Z obr.40, kde jsou znázorněny i větší svazky je vidět, že pokles s rostoucím počtem vláken bude pokračovat. Úvaha vede k tomu, že se po určitém počtu vláken začnou hodnoty pevností ustalovat.

Při pozorování variačního koeficientu a směrodatné odchylky z grafů, lze říci, že variační koeficient (směrodatná odchylka) experimentu je vyšší než výsledky získané ze simulace. Důvodem je opět, že vlákno nespĺňuje předpoklady a to se projevilo i při statistickém zpracování. Výjimku tvoří monofil na upínací délce 200 mm, kdy je variační koeficient (směrodatná odchylka) překvapivě příznivá.

Když se budeme dívat na obrázky s grafy, které znázorňují využití pevnosti ve vlákenném svazku, tak opět zjistíme, že hodnoty z nasimulovaných pevností mají větší využití pevnosti než hodnoty využití pevnosti z experimentu. Znovu se potvrzuje to, že nebyly splněny požadavky simulace.

Využití pevnosti lze porovnat s prací [18], kde je graf využití pevnosti velkých vlákenných svazků v závislosti na variačním koeficientu pevnosti vláken. Po dosazení 8% variačního koeficientu tažnosti (průměrná hodnota všech měření) ukazuje orientačně využití pevnosti na hodnotu 0,8. Z obrázků je vidět, že využití pevnosti s počtem vláken ve svazku klesá. Jeho hodnota se pohybuje kolem 0,98 pro simulované pevnosti. Při porovnání obou hodnot, lze zkonstatovat, že rozdíl ve využití pevnosti ukazuje na počet vláken ve svazku.



Obr.56 Vliv počtu vláken ve svazku na tažnost

Na obr.56 je graf závislosti tažnosti na výše zmíněných vláknech. Kdy nejtaženější je jeden monofil na upínací délce 200 mm. U ostatních vláken není rozpoznat, co je taženější. Tažnost je v

některých případech statisticky významná a někdy se ukazuje statisticky nevýznamná. Žádný trend se tak neukazuje. Tažnost hodně kolísá, což je především následkem nekvalitně dlouženého a špatně zafixovaného původního materiálu (monofilu) a také možná variabilitou po délce vzniklou nedostatečně kvalitní výrobou.

U monofilu byl sledován vliv upínací délky. Výsledné hodnoty jsou znázorněny do tab.17. Grafická závislost vlivu poměrné pevnosti a tažnosti na upínací délku je znázorněna v obr.57, 58.

Kromě trhacího přístroje Instron byl použit trhací přístroj Vibrodyn 400 (umístěný na KTM). Byla na něm sledovaná poměrná pevnost a tažnost monofilového vlákna, osnovy a útku na upínací délce 1 cm. Bylo provedeno 50 měření. Výsledky jsou znázorněny v tab.16 a grafické znázornění je vloženo pro porovnání s trhacím přístrojem Instron do obr.57, 58.

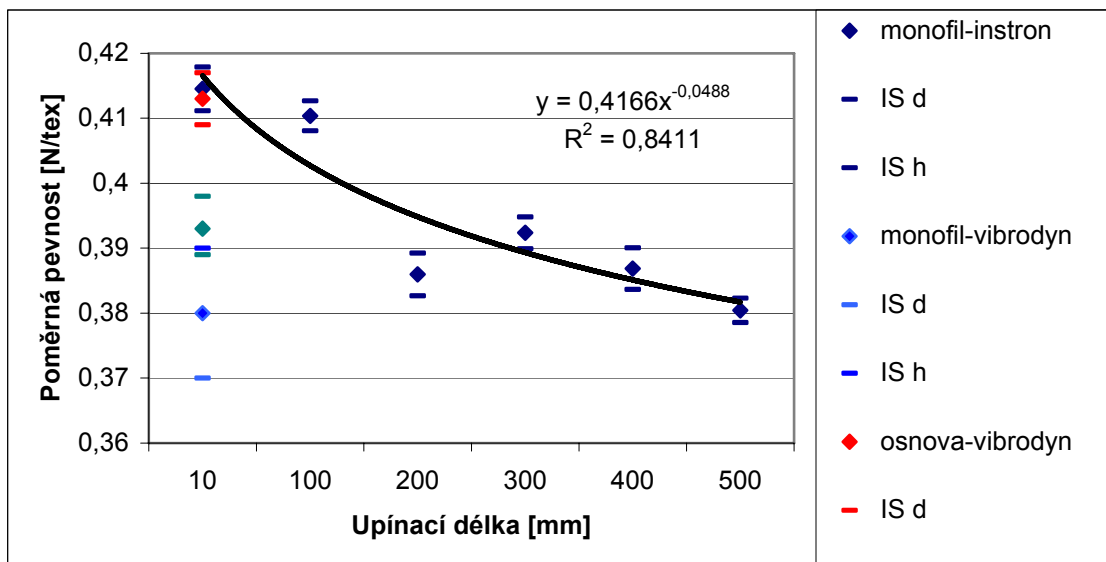
Předpětí na Vibrodynu bylo vyvozeno závažím o hmotnosti 2000 mg a rychlost trhání byla 10 mm/min.

Tab.16 Parametry monofilu, osnovy a útku na upínací délce 1 cm z trhacího přístroje Vibrodyn

	monofil	osnova	útek
Poměrná pevnost [N/tex]	0,380	0,413	0,393
95% IS	0,370	0,409	0,389
	0,390	0,417	0,398
Tažnost [%]	28,64	24,61	30,69
95% IS	26,45	23,90	29,35
	30,83	25,32	32,03

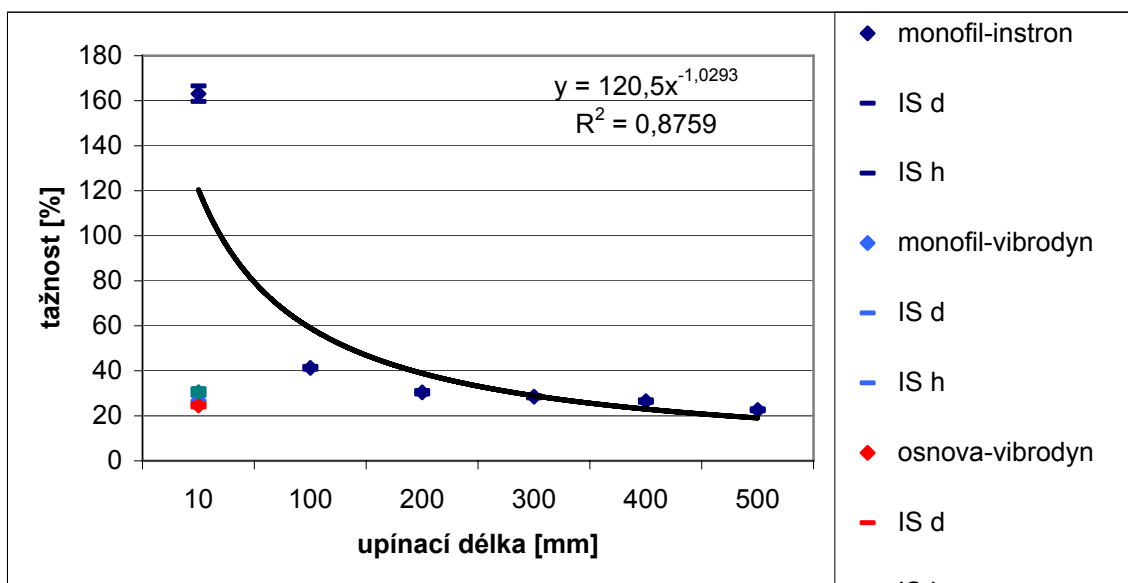
Tab. 17 Parametry monofilu na upínacích délkách

Upínací délka [mm]	10	100	200	300	400	500
Rychlost [mm/min]	50	130	170	280	315	350
Poměrná pevnost [N/tex]	0,415	0,41	0,386	0,392	0,387	0,380
95% IS	0,411 0,418	0,408 0,413	0,383 0,389	0,39 0,395	0,384 0,39	0,379 0,382
Tažnost [%]	163,112	41,301	30,438	28,478	26,526	22,628
95% IS	159,641 166,582	40,646 41,956	29,693 31,182	27,925 29,032	25,936 27,116	22,159 23,097
Práce [J]	0,017	0,044	0,062	0,088	0,107	0,110
95% IS	0,016 0,018	0,043 0,045	0,06 0,064	0,086 0,09	0,104 0,11	0,106 0,113
Youngův modul [N/mm]	0,061	0,105	0,119	0,060	0,051	0,039
95% IS	0,054 0,068	0,098 0,112	0,115 0,123	0,057 0,063	0,048 0,054	0,037 0,042
Čas [s]	19,561	19,157	20,191	19,688	18,652	19,098
95% IS	19,121 20,001	18,810 19,505	19,694 20,688	19,307 20,069	18,275 19,03	18,654 19,542
Deformační rychlost [mm/s]	0,0835	0,0216	0,0151	0,0145	0,0142	0,0119
95% IS	0,0824 0,0847	0,0213 0,0219	0,0149 0,0153	0,0144 0,0146	0,0140 0,0144	0,0118 0,0119



Obr.57 Závislosti upínací délky na poměrnou pevnost

Pokud bychom chtěli porovnat trhací přístroje Vibrodyn a Instron na upínací délce 10 mm, je z obr.57, 58 vidět rozdíly. Je to zřejmě způsobeno jinou rychlostí trhání, jiným předpětím a jinými klimatickými podmínkami.



Obr.58 Závislosti upínací délky monofilu na tažnost

Když chceme zhodnotit vliv upínací délky na poměrnou pevnost zjišťovanou u monofilu, měli bychom se podívat na obr.57. Z grafu se potvrzuje úvaha, že největší pevnost má vlákno na nejmenší upínací délce. Tzn., že s rostoucí upínací délkou klesá pevnost. Protože s rostoucí upínací délkou roste větší pravděpodobnost výskytu slabých míst.

Pokud bychom chtěli zhodnotit vliv tažnosti na upínací délky, měli by jsme sledovat obr.58. Kde naopak s rostoucí upínací délkou tažnost klesá.

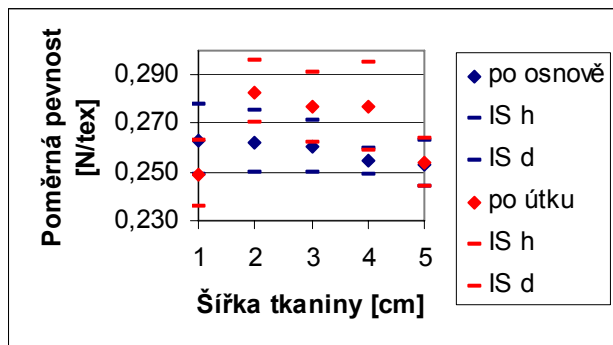
Souhrnně lze říci, že z obr. je vidět vliv upínací délky na vlákno. Čím kratší upínací délka, tím je větší tažnost ve vláknech a tím je zapotřebí působení větší síly na přetrh vlákna.

4.2.2 Trhací zkouška – tkanina

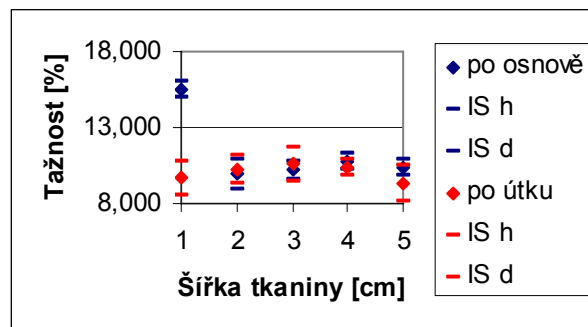
Trhacím přístrojem byl Instron (umístěný na KTM). Trháno bylo dle [29]. Rozdíl oproti zkoušení mechanických vlastností u vláken byl ve velikosti upínací hlavy a v čelistech. Rychlost trhání byla konstantní 100 mm/min (pro všechny šíře tkaniny trhané po osnově i útku). Tkanina byla trhána bez předpětí. Upínací délka byla 200 mm. Mezi vzorek a čelisti byl umístěn smirkový papír, aby nedocházelo k prokluzům.

Pro odběr vzorků z tkaniny trhané o šířce 5 cm a délce 200 mm byla používána příloha A [29]. Z důvodu nedostatku materiálu byly ostatní vzorky tkaniny (o šířce 1-4 cm) odebírány na různých místech bez ohledu na normu. Pouze byla dodržena vzdálenost od pevného kraje [29]. Kromě již zmíněných rozměrů, byla měřena tkanina o malém počtu nití (3-10). Menší počet už nelze měřit. Měření byla prováděna ve všech případech 5 krát.

Výsledky měření jsou znázorněny v tab. 18-21 a obr.59-61. Byla sledována poměrná pevnost [N/tex], tažnost [%], práce [J], čas [s], deformační rychlost v_{def} [mm/s].



Obr.59 Závislost tkaniny na poměrné pevnosti



Obr.60 Závislost tkaniny na tažnost

Na obr.59 je zobrazen graf závislosti poměrné pevnosti na různé šířce tkaniny trhané po osnově a po útku. Nejdříve si musíme uvědomit, že tkaniny trhané po osnově a po útku i když měly stejnou šířku, ale různý počet nití v těchto šířkách. (Rozdílný počet nití je způsoben jinou dostavou). Z grafů je vidět, že poměrná pevnost mezi tkaninou trhanou po osnově a po útku je statisticky nevýznamná a rozdíl v počtu nití nehraje roli, protože je různý počet nití v dostavě není významně rozdílný.

Ale z obr.60, který znázorňuje závislost tažnosti šířce tkaniny trhané po osnově a útku je statisticky významný rozdíl mezi vzorky trhanými o šířce 1 cm. Tento jev bych přisuzovala možnému špatnému naměření, ovlivněnému např. malým počtem trhů.

Tab.18 Parametry tkaniny trhané po osnovních nitech

Počet vláken v tkanině	3	4	5	6	7	8	9	10
Rychlost [mm/min]	100	100	100	100	100	100	100	100
Poměrná pevnost [N/tex]	0,270	0,287	0,283	0,281	0,265	0,270	0,271	0,287
95% IS	0,254 0,286	0,279 0,296	0,263 0,304	0,264 0,298	0,251 0,280	0,258 0,283	0,242 0,300	0,256 0,319
Tažnost [%]	6,357	7,711	8,341	7,835	7,106	7,702	8,799	9,712
95% IS	5,843 6,871	6,364 9,058	6,770 9,912	6,618 9,052	5,693 8,519	6,854 8,550	6,921 10,677	7,764 11,660
Práce [J]	0,025	0,043	0,061	0,068	0,069	0,085	0,104	0,142
95% IS	0,022 0,028	0,039 0,048	0,049 0,073	0,053 0,083	0,051 0,087	0,073 0,096	0,064 0,143	0,101 0,182
Čas [s]	14,454	14,698	19,212	18,620	18,428	21,072	24,970	24,440
95% IS	12,937 15,971	12,032 17,364	15,931 22,493	16,011 21,229	17,371 19,485	19,893 22,251	23,693 26,247	23,083 25,797
Deformační rychlost [mm/s]	0,0044	0,0053	0,0043	0,0042	0,0038	0,0036	0,0035	0,0039
95% IS	0,0043 0,0046	0,0049 0,0057	0,0042 0,0045	0,0041 0,0043	0,0032 0,0044	0,0033 0,0040	0,0029 0,0041	0,0033 0,0046

Tab.19 Parametry tkaniny trhané po osnovních nitech

Počet vláken v tkanině	32	64	96	128	160
Rychlost [mm/min]	100	100	100	100	100
Poměrná pevnost [N/tex]	0,263	0,263	0,260	0,254	0,253
95% IS	0,249 0,278	0,250 0,275	0,250 0,271	0,249 0,260	0,244 0,263
Tažnost [%]	15,515	9,922	10,180	10,771	10,343
95% IS	14,951 16,079	8,917 10,927	9,545 10,815	10,291 11,251	9,836 10,850
Práce [J]	0,328	0,787	1,090	1,469	1,788
95% IS	0,290 0,366	0,669 0,906	0,965 1,215	1,339 1,599	1,548 2,029
Čas [s]	20,366	29,562	29,372	27,142	26,828
95% IS	19,276 21,456	28,644 30,480	26,851 31,893	25,244 29,040	25,566 28,090
Deformační rychlost [mm/s]	0,0076	0,0034	0,0035	0,0040	0,0039
95% IS	0,0073 0,0080	0,0031 0,0036	0,0034 0,0036	0,0038 0,0041	0,0038 0,0039

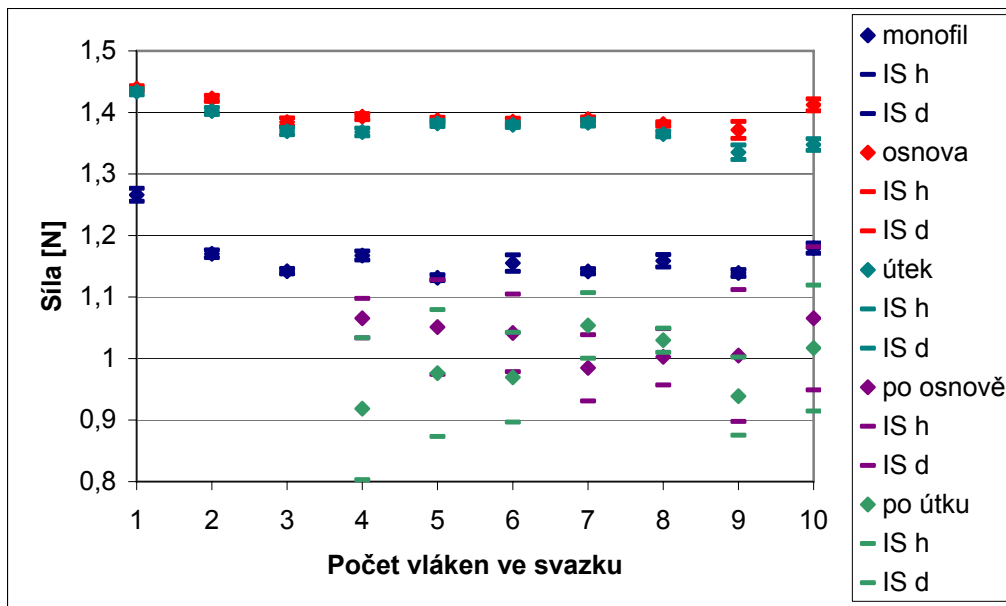
Tab.20 Parametry tkaniny trhané po útkových nitech

Počet vláken v tkanině	3	4	5	6	7	8	9	10
Rychlost [mm/min]	100	100	100	100	100	100	100	100
Poměrná pevnost [N/tex]	0,277	0,257	0,273	0,271	0,294	0,288	0,262	0,284
95% IS	0,252 0,302	0,224 0,289	0,244 0,302	0,250 0,291	0,279 0,309	0,282 0,293	0,245 0,280	0,255 0,313
Tažnost [%]	8,833	8,969	9,651	10,596	9,824	10,843	8,973	8,946
95% IS	6,429 11,237	7,056 10,882	8,365 10,937	8,894 12,298	8,149 11,499	9,589 12,097	7,952 9,994	7,576 10,316
Práce [J]	0,037	0,044	0,062	0,082	0,101	0,125	0,100	0,132
95% IS	0,026 0,049	0,033 0,055	0,049 0,074	0,065 0,099	0,081 0,120	0,108 0,143	0,077 0,122	0,104 0,159
Čas [s]	18,512	19,240	20,826	25,948	21,330	29,596	25,974	26,346
95% IS	13,877 23,147	15,707 22,773	17,956 23,696	22,350 29,546	18,759 23,901	28,066 31,126	23,913 28,035	24,718 27,974
Deformační rychlost [mm/s]	0,0048	0,0046	0,0043	0,0046	0,0046	0,0037	0,0034	0,0034
95% IS	0,0044 0,0051	0,0044 0,0048	0,0046 0,0047	0,0039 0,0042	0,0043 0,0049	0,0034 0,0039	0,0033 0,0036	0,0030 0,0037

Tab.21 Parametry tkanina trhané po útkových nitech

Počet vláken v tkanině	35	70	105	140	175
Rychlost [mm/min]	100	100	100	100	100
Poměrná pevnost [N/tex]	0,249	0,283	0,277	0,277	0,254
95% IS	0,236 0,263	0,270 0,296	0,262 0,291	0,259 0,295	0,244 0,264
Tažnost [%]	9,662	10,263	10,567	10,377	9,276
95% IS	8,534 10,790	9,378 11,148	9,394 11,740	9,852 10,902	8,116 10,436
Práce [J]	0,372	0,757	1,098	1,528	1,450
95% IS	0,306 0,439	0,680 0,834	0,989 1,207	1,324 1,733	1,187 1,712
Čas [s]	23,164	25,476	26,102	26,742	26,998
95% IS	21,592 24,736	23,684 27,268	23,677 28,527	25,683 27,801	25,750 28,246
Deformační rychlost [mm/s]	0,0042	0,0040	0,0040	0,0039	0,0034
95% IS	0,0039 0,0044	0,0040 0,0041	0,0040 0,0041	0,0038 0,0039	0,0032 0,0037

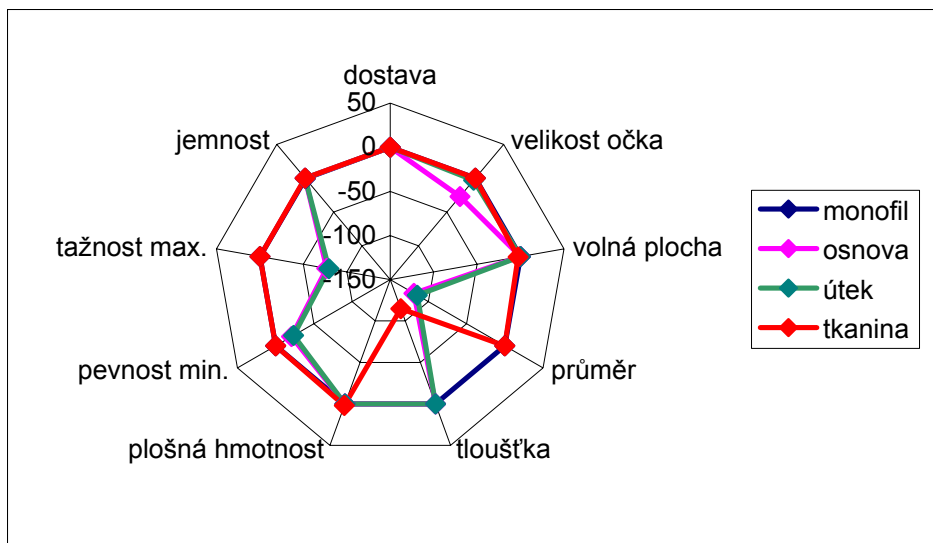
Obr.61 znázorňuje závislost pevnosti jednoho vlákna vypočteného z pevnosti jednotlivých svazků a také z tkaniny trhané po osnově a útku s malým počtem nití (3-10). Graf tedy znázorňuje monofil, osnovu, útek, tkaninu po osnově a po útku trhané na upínací délce 200 mm. Síla jednoho vlákna byla získaná přepočtením z pevnosti jednotlivých vlákenných svazků, tkanin vydělením počtem vláken ve svazku, tkanině. Z grafu je vidět, že je nejpevnější osnova následována útkem. Monofil je méně pevný, což je způsobeno jeho špatnou fixací a následným protažením osnovních a útkových nití během tkání. Rozdíly jsou statisticky významné. Rozdíly mezi tkaninou trhanou o malém počtu nití po osnově a útku jsou statisticky nevýznamné. Pevnost mezi tkaninou a vlákny je menší z důvodu působení příčných nití (jejich navlnění).



Obr.61 Závislosti pevnosti jednoho vlákna na upínací délce 200 mm

4.3 Zhodnocení parametrů udaných výrobcem

Závěrem experimentální části je obr.62, který znázorňuje graf zhodnocení (porovnání) výsledků získaných v experimentu s údaji od výrobce uvedenými v tab.3. Pro přehlednost byly použity pouze průměrné hodnoty uváděné v procentech. Údaje od výrobce jsou označovány jako 0%. Intervaly spolehlivosti nejsou v grafu znázorněny, ale jsou uvedeny v tabulkách viz. výše.



Obr.62 Porovnání naměřených hodnot v [%] se údaji od výrobce

Hodnoty uvedené v paprskovém diagramu jsou pouze orientační a slouží pro získání rychlého přehledu zkoušeného materiálu. Pokud pro daný materiál nebyla veličina měřena, tak její hodnota je na 0. Kromě dostavy po osnově a po útku, kdy údaj získaný v experimentální části byl stejný s hodnotou zadanou výrobcem. Dalším bod, který je v diagramu splněn je tažnost. Která po osnově i útku nepřesáhla jejich zadanou maximální hodnotu. Horší je to s pevností tkaniny po osnově i útku, která byla zadaná jako minimální a tohoto údaje nebylo ani dosaženo. Ani ostatní údaje nepotvrdily údaje zadané výrobcem. Z grafu je vidět potvrzení, že záleží na tom jaký byl materiál zkoušen (z jaké vyrobené partie). Dále se potvrzuje fakt, že záleží na zvolení vhodné metody při experimentu a tím související i zkoušení přístroj.

5. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo sledovat vlastnosti polyesterového monofilu používaného pro výrobu armovacích textilií a následně vlastnosti této tkaniny používané pro výrobu ionexových membrán. Byl sledován původní monofil, jeho změna po zatkání do tkaniny a samotná tkanina. Práce byla následně zaměřena na modelování pevnosti malých (1-10) vláknových (monofil, osnova a útek) svazků na upínací délce 200 mm a monofilu na upínací délce 500 mm. Dále byl sledován vliv upínací délky na pevnost monofilu a samotná pevnost tkaniny.

Při zkoumání monofilu a jeho změny po zatkání lze ze zjištěných výsledků zkonstatovat, že se mezi zkoumanými vzorky projevily výrazné odlišnosti. Ze získaných hodnot je možno říci, že rozdíly byly statisticky významné.

Rozdíl mezi původním materiálem a zatkáním se projevilo téměř u všech experimentů. Důvodem je, že se monofil působením sil na tkacím stroji protáhne a tím změní svoje vlastnosti (geometrické i mechanické). Příčinou protahování materiálu na tkacím stroji je zřejmě jeho špatná fixace během výroby. Nejen špatná fixace mohla ovlivnit monofil, ale také už samotná výroba způsobená např. při změně pracovní směny, která může svojí různou pracovní schopností ovlivnit výsledný monofil a může tím způsobit jeho variabilitu po délce.

Nekvalita monofilu se projevila i pod mikroskopem. Kde pouhým dotknutím pinzetou vzorku došlo k viditelné deformaci. Tato deformace se také ukázala i v osnově a útku. Kdy z vypáraných vzorků (osnovy a útku) bylo vidět, že došlo v místech křížení vazných bodů k vytvoření "důlků".

Zjištěná změna vlastností mohla ovlivnit i to, že materiál zkoušený před zatkáním nebyl (ze stejné výrobní partie) jako monofil použitý ve tkanině.

Při porovnání hodnot naměřených v experimentu s hodnotami od výrobce se ukázalo, že rozdíly jsou statisticky významné. Na zkoumanou tkaninu je kladeno mnoho požadavků, které tato tkanina nespĺnila. Hlavními požadavky na výrobu armovací textilie by měly být minimální tloušťka, maximální porozita a dodržení kvality vazných bodů.

Během procesu výroby síta by se mělo zaměřit na:

- kvalitu vstupního materiálu
- použití stejné výrobní partie pro osnovu i útek
- nastavení vhodných parametrů na tkacím stroji
- kontrolu posuvů nití přímo na tkacím stroji

Při zkoumání vlivu pevnosti monofilu na upínací délku, byl splněn předpoklad . Čím kratší upínací délka, tím je větší tažnost ve vlákne a tím je zapotřebí působení větší síly na přetrh vlákna.

Při zkoumání pevnosti malých vlákenných svazků bylo zjištěno, že se pevnost monofilu vlivem zatkání (protažením) zvýšila oproti původnímu. K tomu, že došlo k protažení osnovy a útku se projevilo už při samotném trhání. Pro monofil bylo obtížné určit rychlost posuvu čelestí tak, aby byl splněn požadavek na čas přetrhu. Jevil se jako špatně dloužený a málo zafixovaný materiál. Vše potvrzují i tahové křivky, které u monofilu ukazují mez kluzu.

Byla provedena simulace malých vlákenných svazků. Pevnost vyjádřena z nasimulovaných hodnot vyšla vyšší. Důvodem vyšší pevnosti je, že monofil nespĺňuje předpoklady stanovené pro simulaci. Kromě toho by mohlo být možné, že zde nebyla zahrnuta korelace mezi pevností a tažností. Pro další modelování bych navrhovala zahrnout vliv tažnosti, tedy použít dvourozměrné rozložení.

Pokud bychom měli udělat závěr ze zjišťování pevnosti a tažnosti samotné tkaniny. Tak mezi tkaninou trhanou po osnově a po útku se neprojevily žádné výrazné rozdíly. A jsou tedy statisticky nevýznamné.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] **Polyester** [online] [cit.31.1.2007]
Dostupný z WWW: <<http://de.wikipedia.org/wiki/Polyester> >
- [2] MIKLAS Z., VAVÁČEK M.: **Polyesterová vlákna**, SNTL Praha, 1966
- [3] PAJGRT O., REICHSTÄDTER B. A KOLEKTIV.: **Polyesterová vlákna**, SNTL Praha, 1973
- [4] HLADÍK V., KOZEL T., MIKLAS Z.: **Textilní materiály**, SNTL Praha, 1977
- [5] KREBSOVÁ M.: **Nauka o polymerech**, VŠST Liberec, 1978
- [6] HLADÍK V. A KOLEKTIV.: **Textilní vlákna**, SNTL Praha, 1970
- [7] MILITKÝ J.: **Textilní vlákna**, TUL, 2002
- [8] **Membrána** [online] [cit.31.1.2007]
Dostupný z WWW: <<http://www.mega.cz> >
- [9] DOSTÁLOVÁ, M. – KŘIVÁNKOVÁ, M.: **Základy textilní a oděvní výroby**, TUL Liberec, 2001
- [10] NECKÁŘ B.: **Morfologie a strukturní mechanika obecných vlákenných útvarů**, TUL, 2001
- [11] URSÍNÝ, P.: **Předení I**, TUL Liberec, 2001
- [12] KOVÁŘ, R.: **Struktura a vlastnosti plošných textilií**, TUL Liberec, 2003
- [13] **DSC** [online] [cit.31.1.2007]
Dostupný z WWW: <<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/2006106/prednaska4.pdf> >
- [14] **Mikroskopy** [online] [cit.31.1.2007]
Dostupný z WWW: <<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/zvt-navodynacviceny.pdf>>
- [15] DVOŘÁK J.: **Tkací proces a stroj**, TUL, 2006
- [16] HARLOW GARY D., PHOENIX LEIGH S.: **The Chin-of-Bundles Probability Model For the Strength of Fibrous Materials I: Analysis and Conjectures**, Received, 1978
- [17] MELOUN M., MILITKÝ J.: **Statistická analýza experimentálních dat**, TUL, 2006
- [18] KŘEMENÁKOVÁ D.: **Habilitační práce**, TUL, 2005

- [19] PAN N.: **A Detailed Examination of the Translation Efficiency of Fiber Strength into Composites Strength**, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 14, 1995
- [20] PAN N.: **Theoretical Determination of the Optimal Fiber, Volume Fraction and Fiber Matrix Property Compatibility Polymer Composites**, Vol.14, 1993
- [21] KŘEMENÁKOVÁ, D., MILITKÝ, J., VOZKOVÁ, P.: **Comparison of yarns strength prediction with Uster statictics**, Beltwide Cotton Utilization Conference, San Antonio, USA, January 2004
- [22] MILITKY J: **Proc.35th. Mt. Fuji Textile Research Symposium at Hangzhou**, August 2006
- [23] MELOUN M., MILITKY J., FORINA M.: **Chemometrics for Analytic Chemistry vol. I, Statistical Data Analysis**, Ellis Horwood, Chichester 1992
- [24] DANIELS H.A.: **The statistical theory of the strength of bundles of threads**, Proc. Roy. Soc. Ser. A183, 405, 1945
- [25] Interní norma č.46-108-01/01: **Doporučený postup tvorby příčných řezů**
- [26] ČSN EN ISO 2062: **Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu**, Český normalizační institut, Praha, 1996
- [27] Interní norma č.13-108-01/01: **Geometrické parametry tkanin**
- [28] ČSN EN ISO 5084: **Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků**, Český normalizační institut, Praha, 1997
- [29] ČSN EN ISO 13934-1: **Textilie - Tahové vlastnosti plošných textilií**, Český normalizační institut, Praha, 1999

7. SEZNAM PŘÍLOH

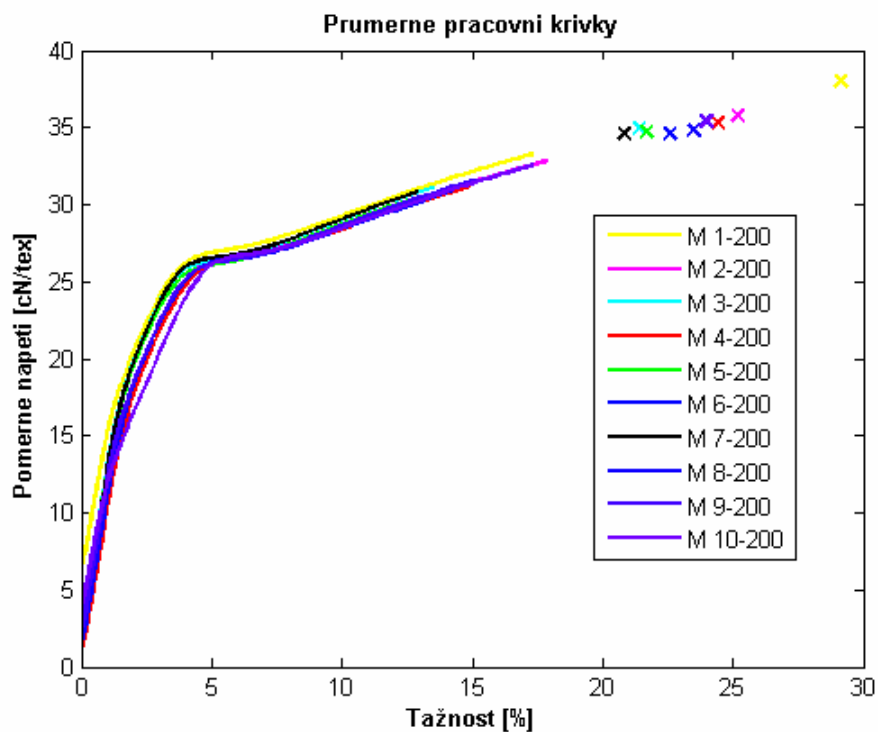
PŘÍLOHA č.1: Tahové křivky z trhacího přístroje Instron

PŘÍLOHA č.2: Tahové křivky z trhacího přístroje Vibrodyn

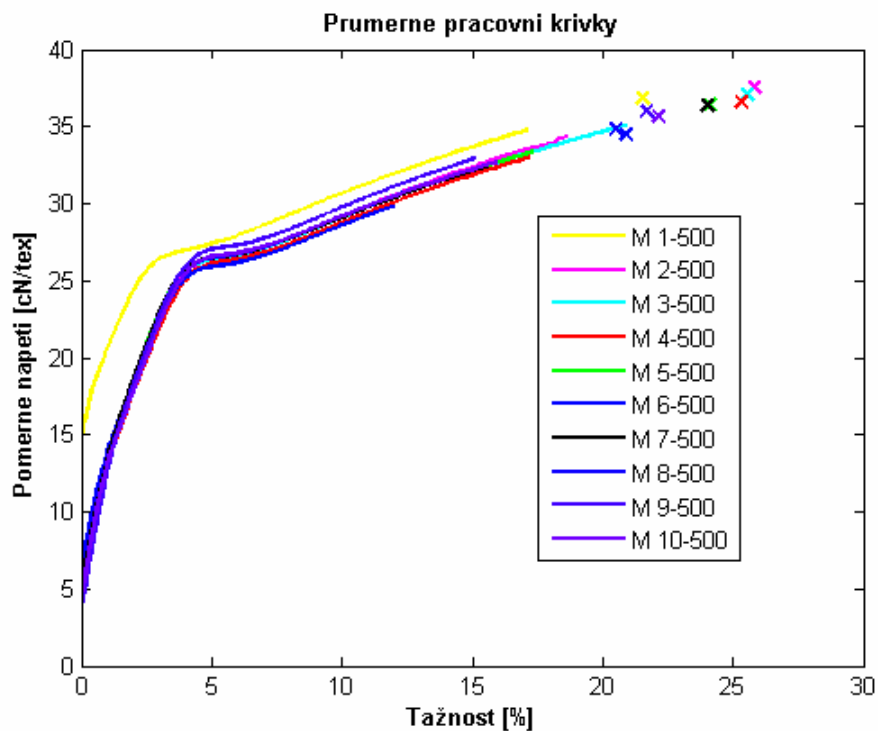
PŘÍLOHA č.3: Grafické znázornění četnosti experimentu a simulace svazkové pevnosti

PŘÍLOHA č.4: Grafy ze zkoušky DSC

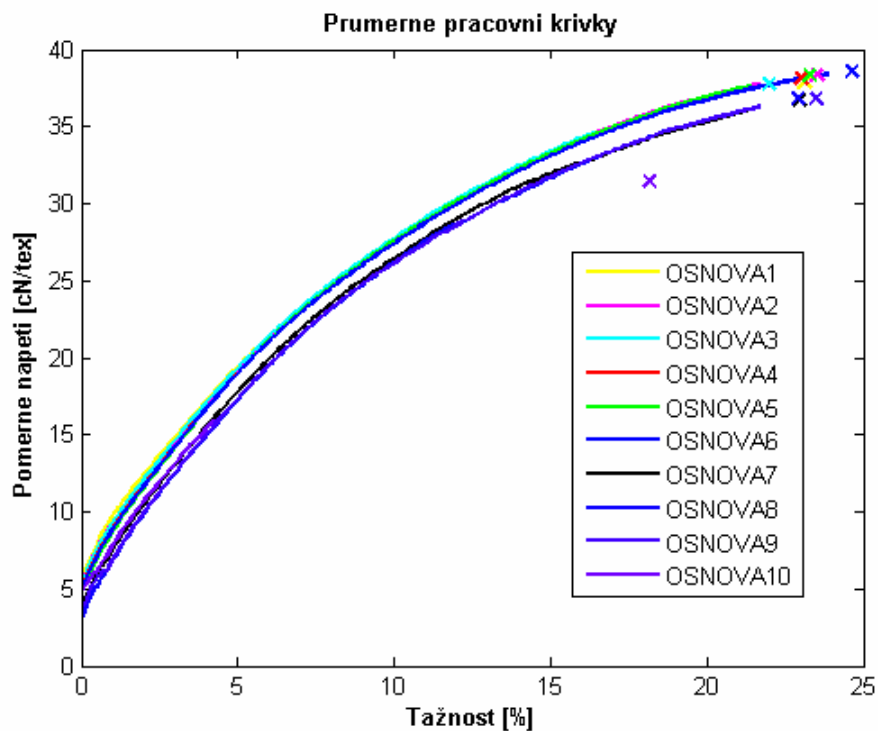
Příloha č.1:



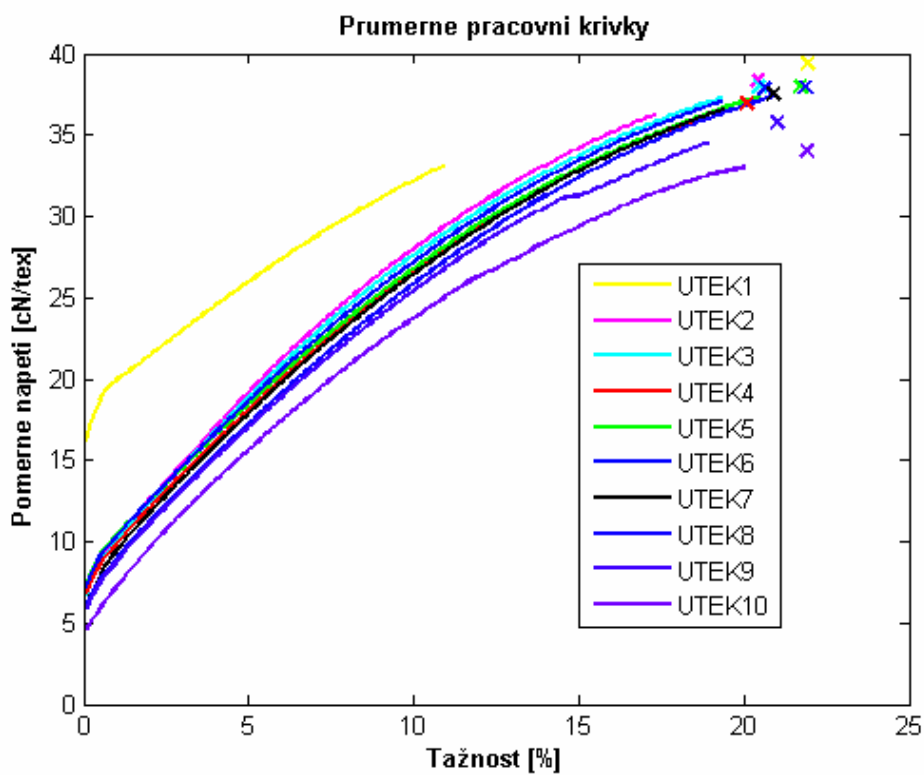
Obr.1 Tahové křivky monofilu malých svazků na upínací délce 200 mm



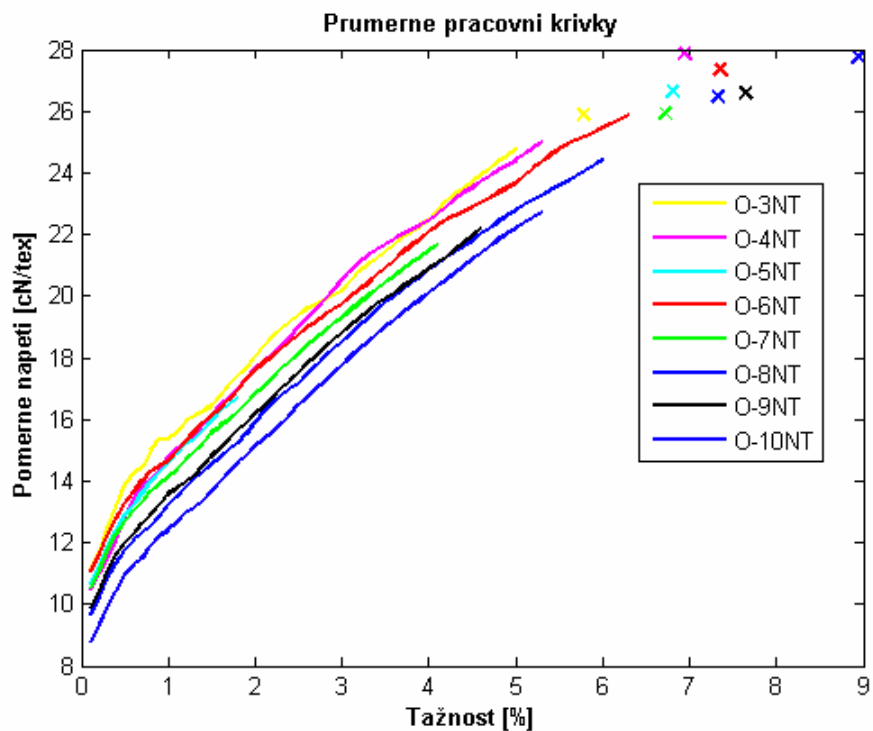
Obr.2 Tahové křivky monofilu malých svazků na upínací délce 500 mm



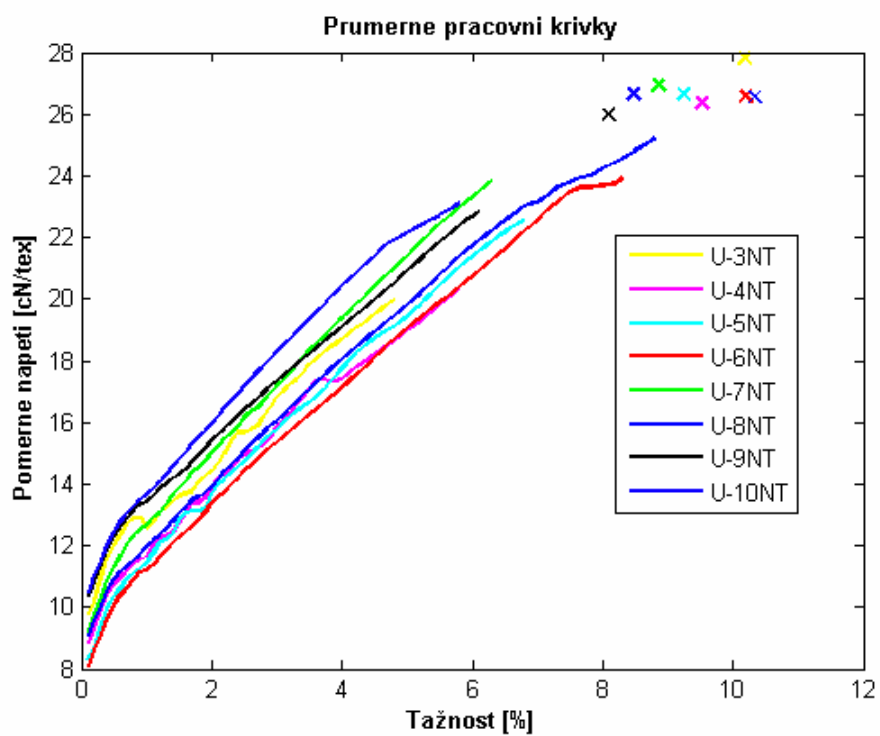
Obr.3 Tahové křivky osnovy malých svazků na upínací délce 200 mm



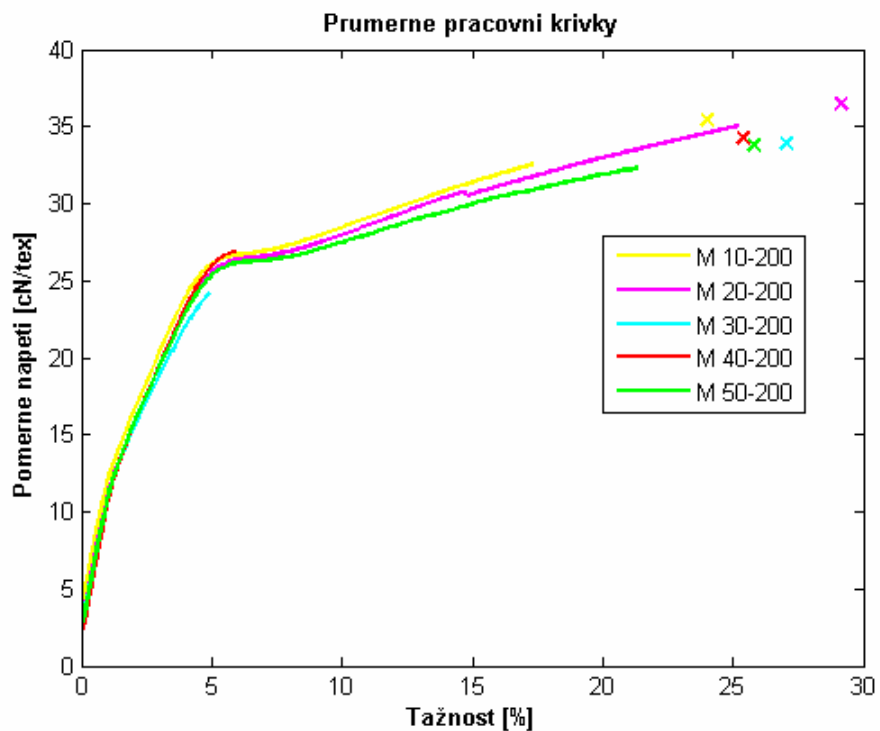
Obr.4 Tahové křivky útku malých svazků na upínací délce 200 mm



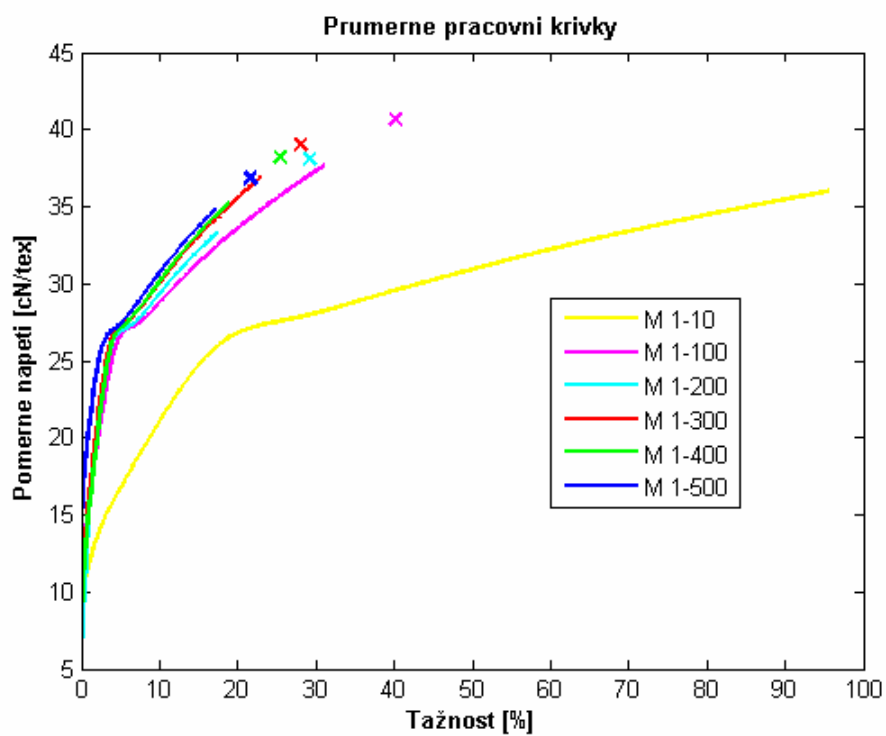
Obr.5 Tahové křivky tkaniny po osnově s malým počtem nití na upínací délce 200 mm



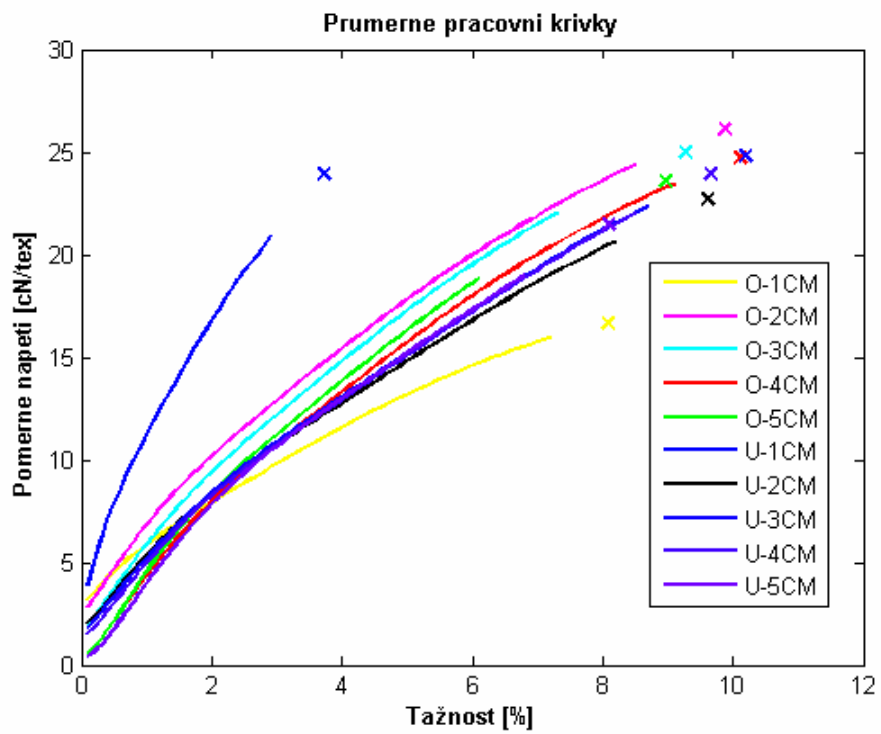
Obr.6 Tahové křivky tkaniny po útku s malým počtem nití na upínací délce 200 mm



Obr.7 Tahové křivky monofilu větších svazků na upínací délce 200 mm

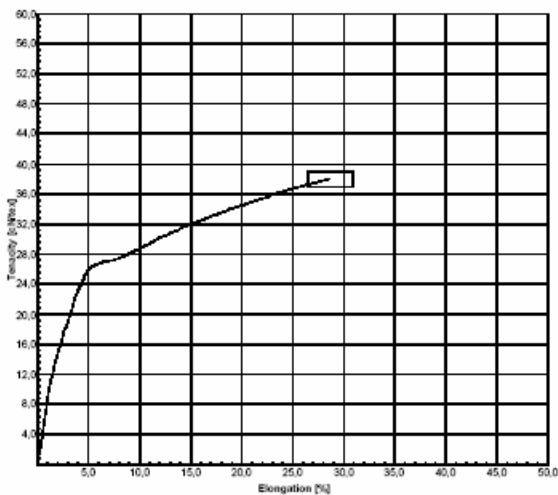


Obr.8 Tahové křivky jednoho monofilu na různé upínací délce

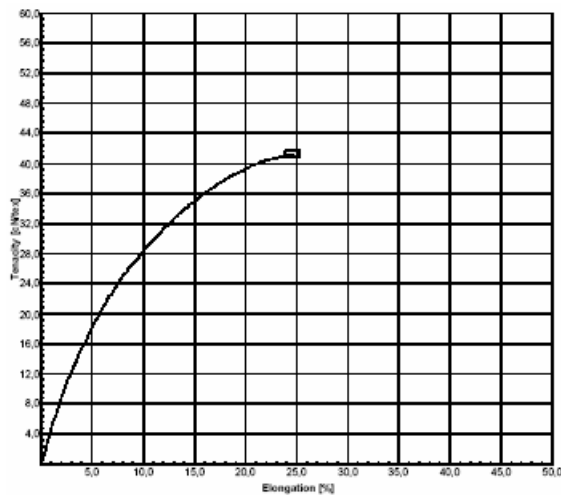


Obr.9 Tahové křivky tkaniny po osnově a po útku různé šířky na upínací délce 200 mm

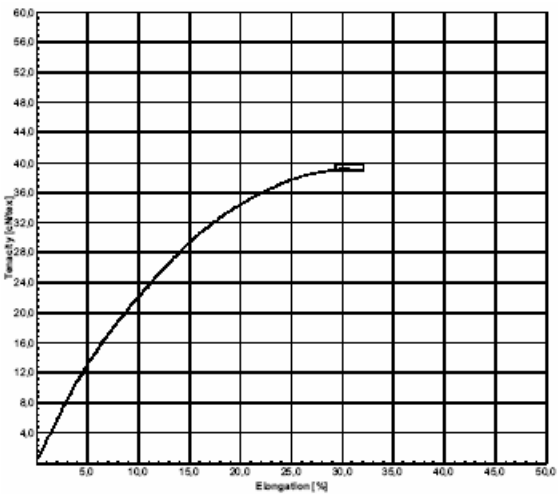
Příloha č.2:



Obr.10 Tahová křivka monofilu na upínací délce 1 cm

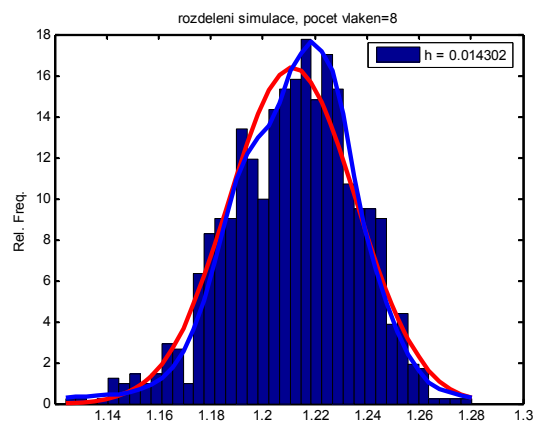
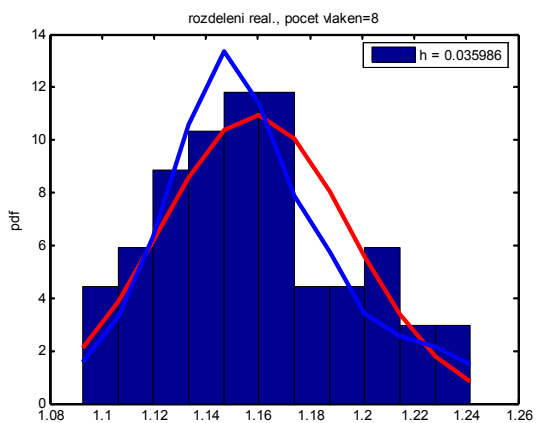
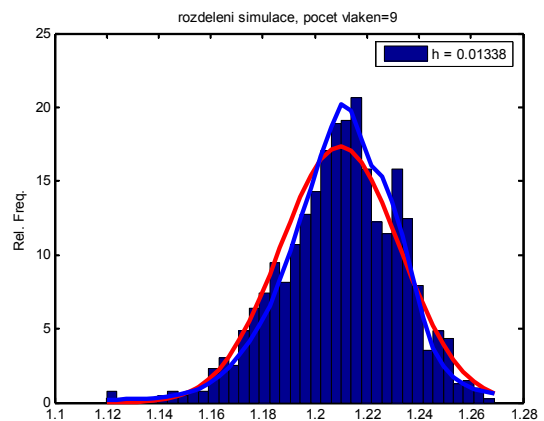
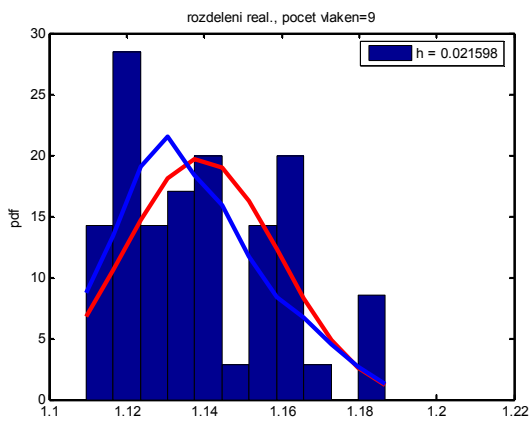
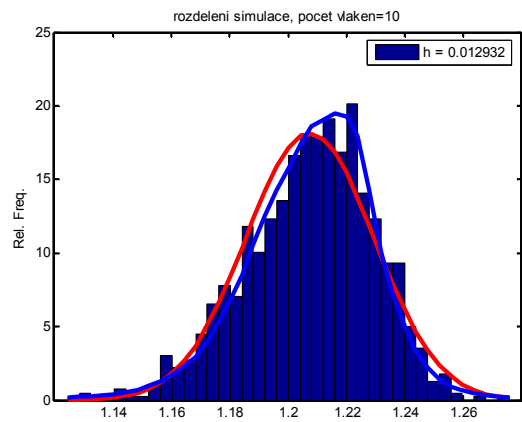
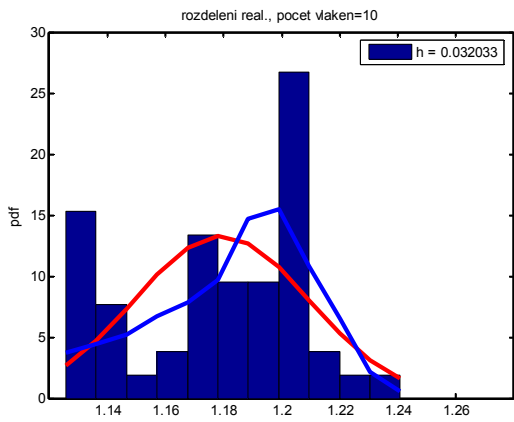


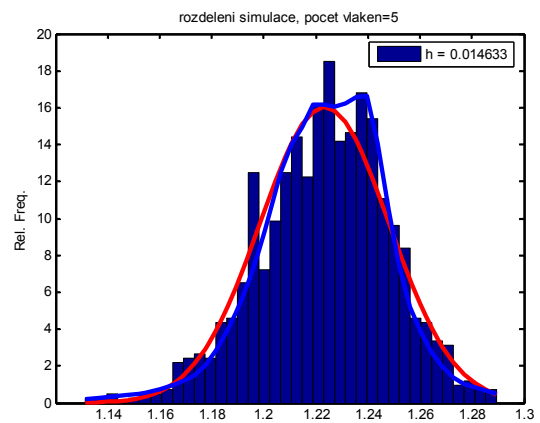
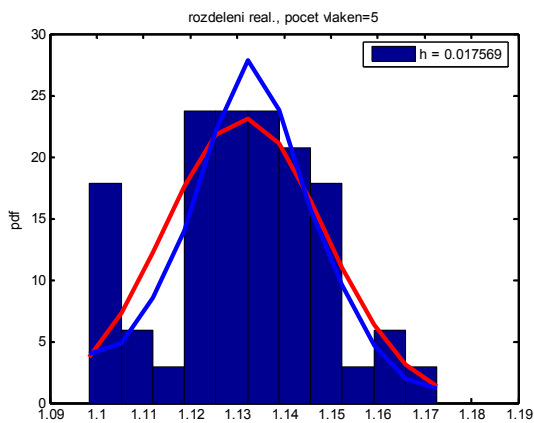
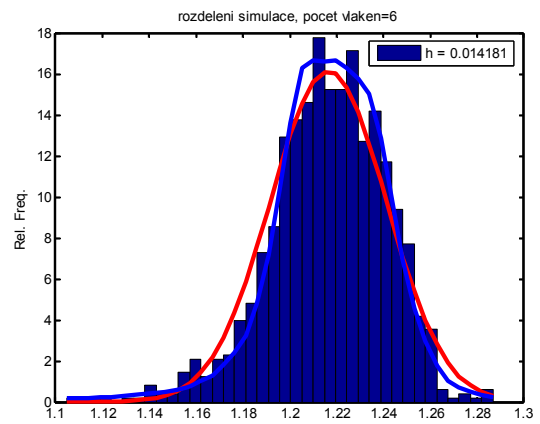
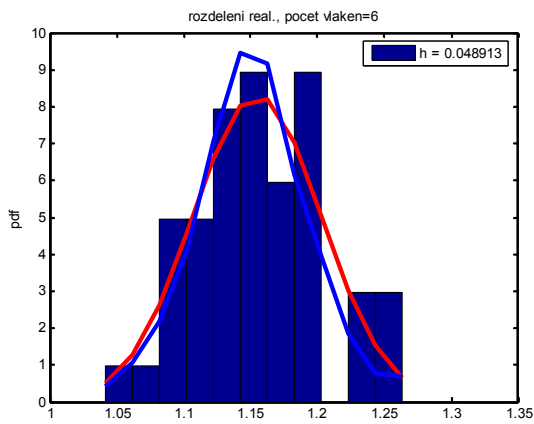
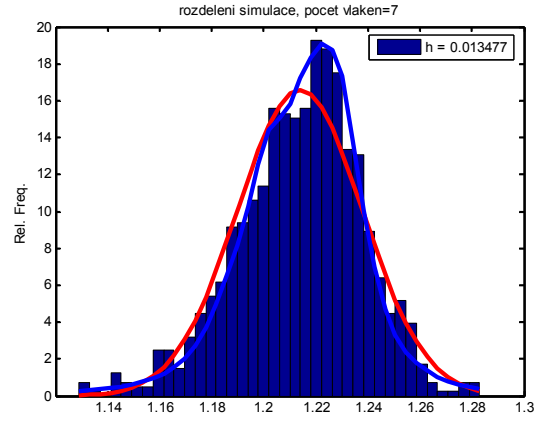
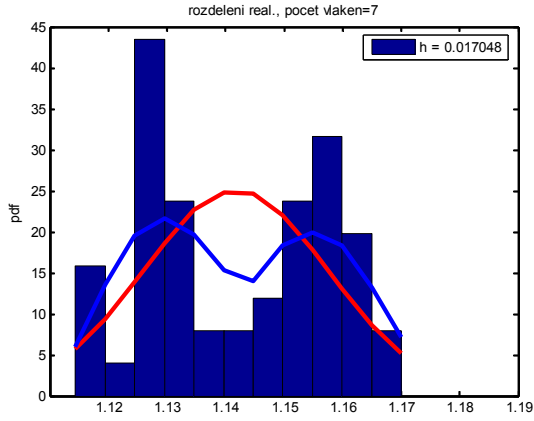
Obr.11 Tahová křivka osnovy na upínací délce 1 cm

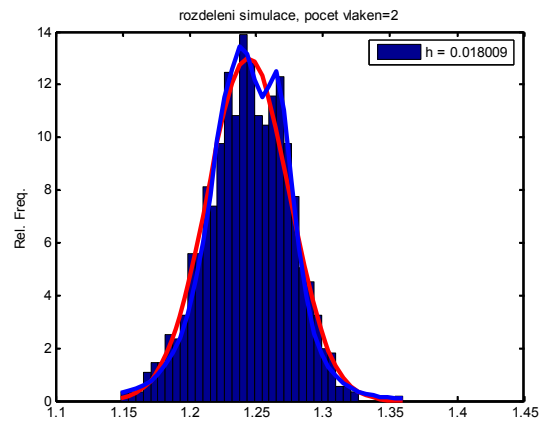
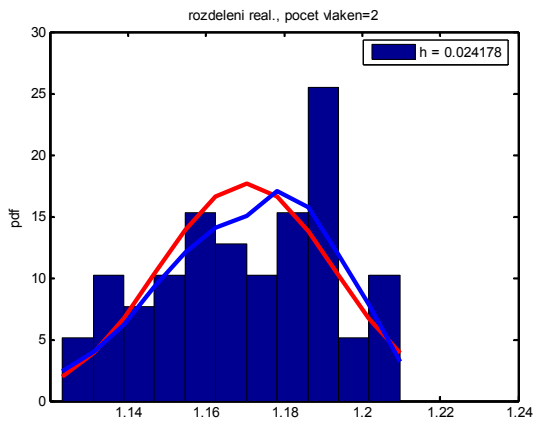
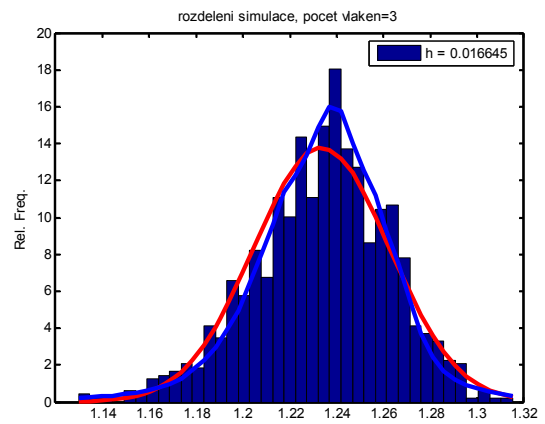
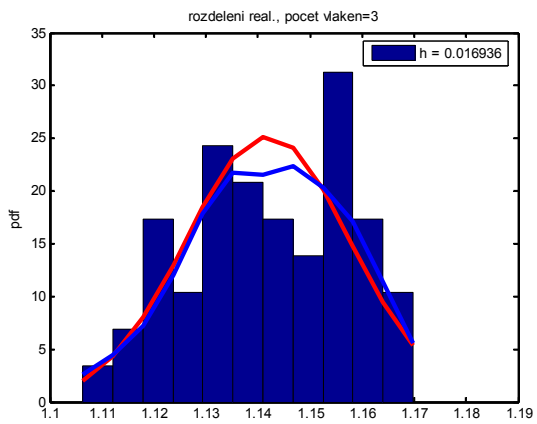
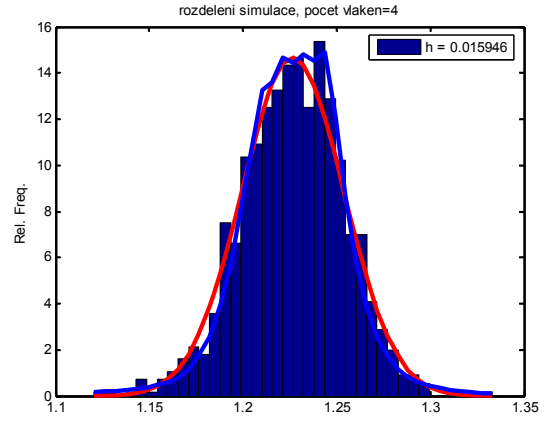
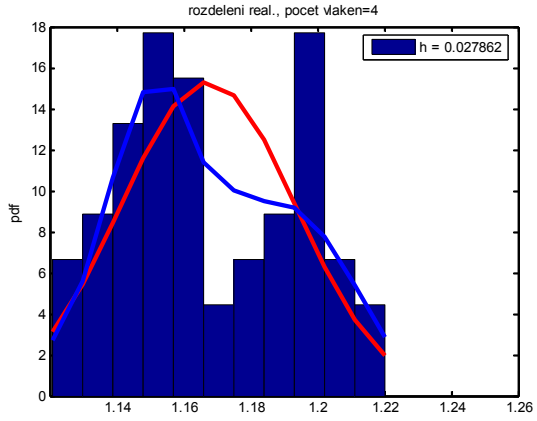


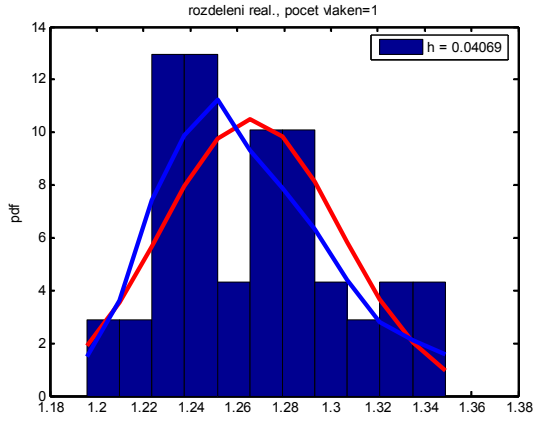
Obr.12 Tahová křivka útku na upínací délce 1 cm

Příloha č.3:



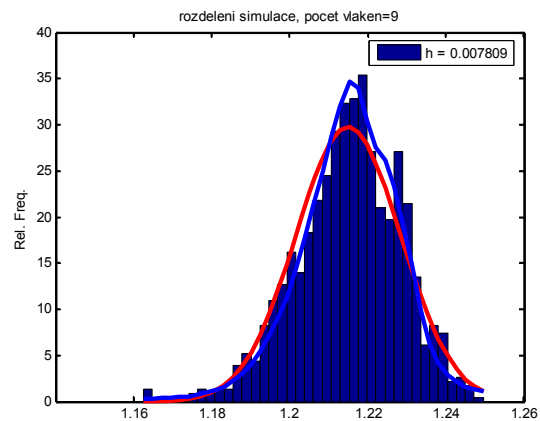
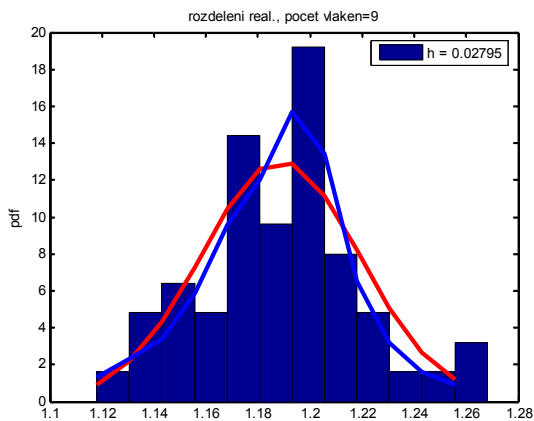
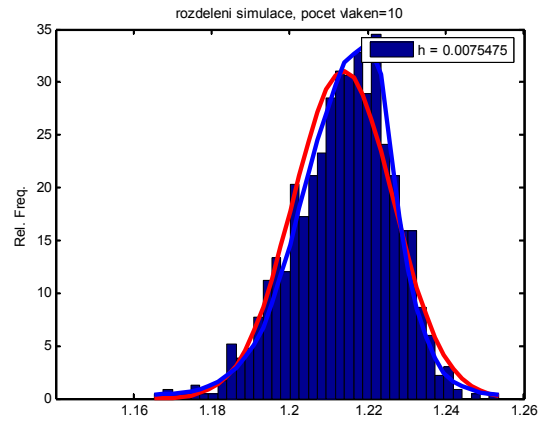
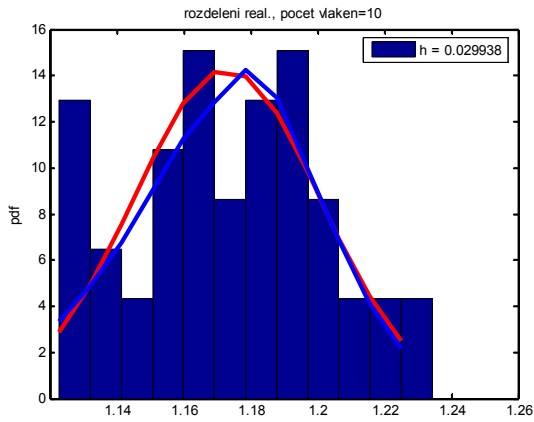


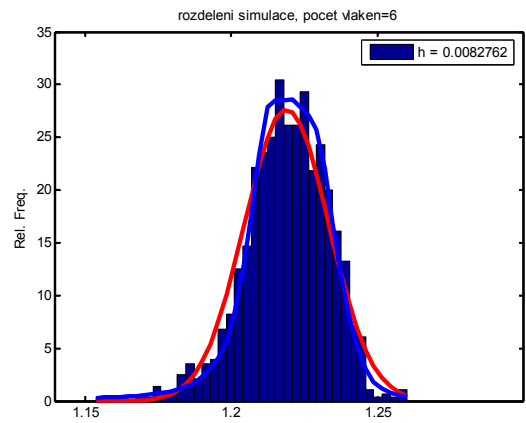
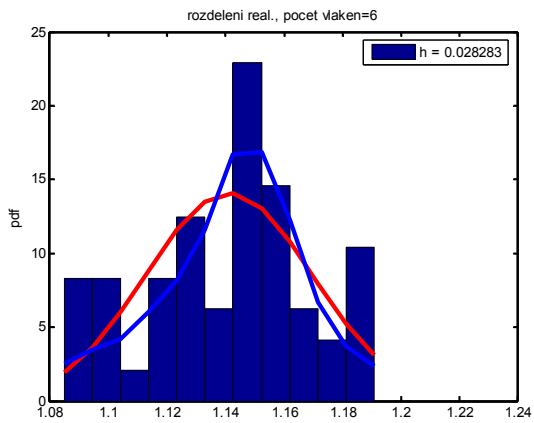
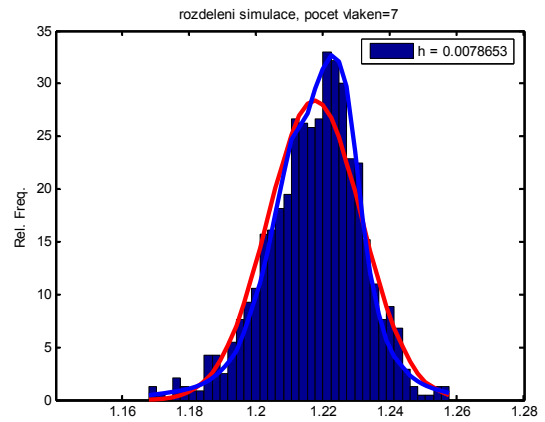
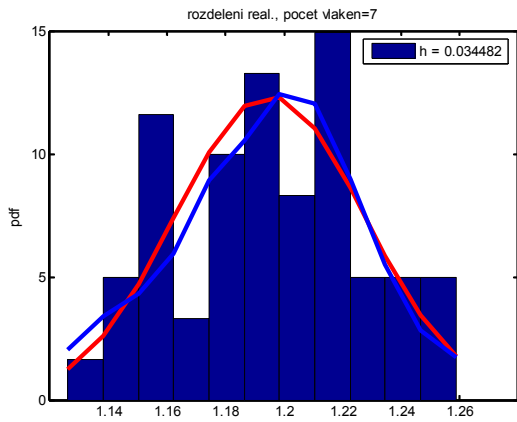
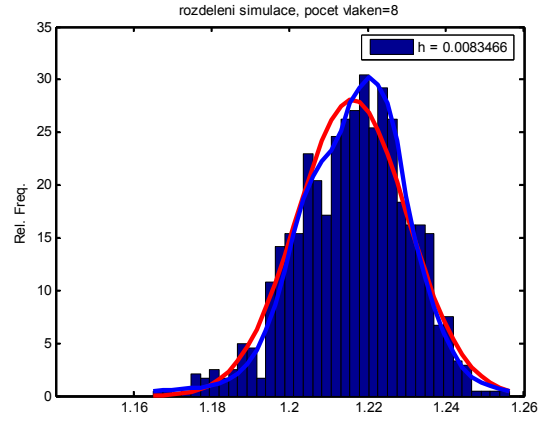
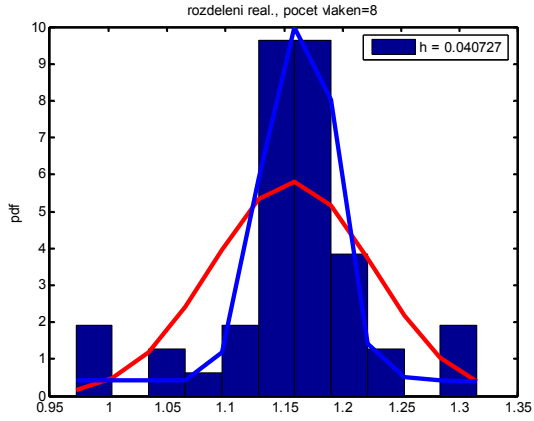


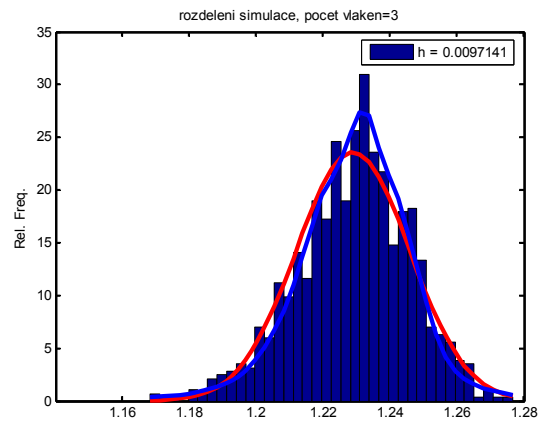
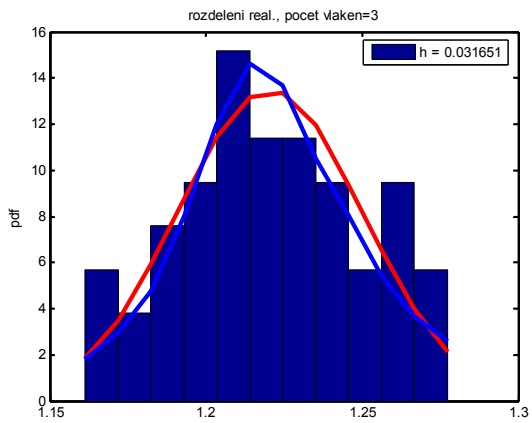
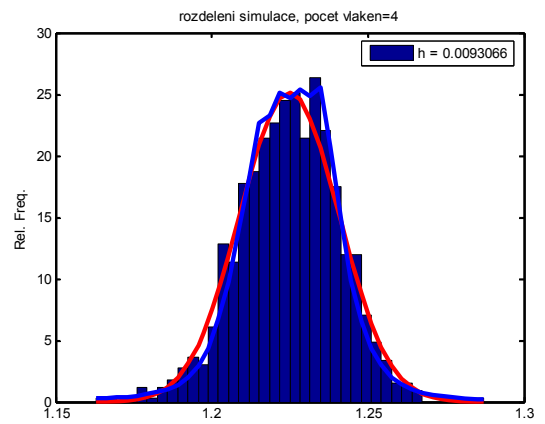
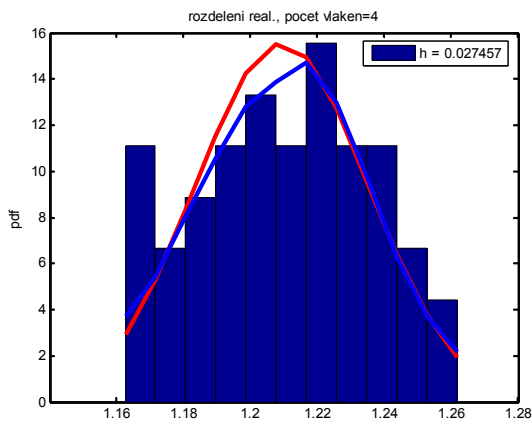
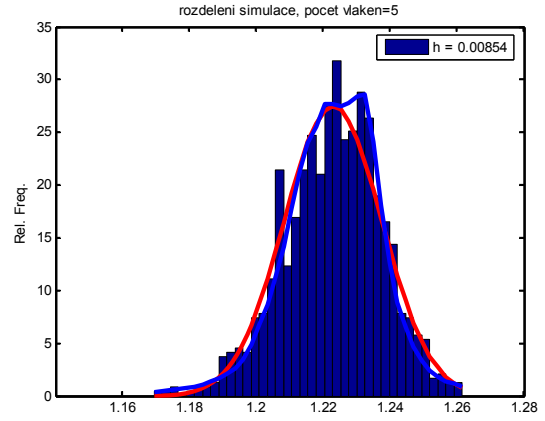
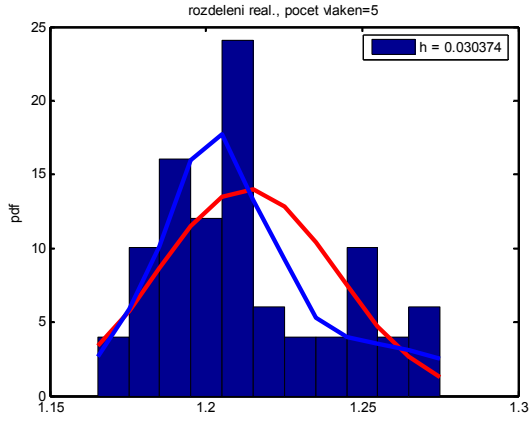


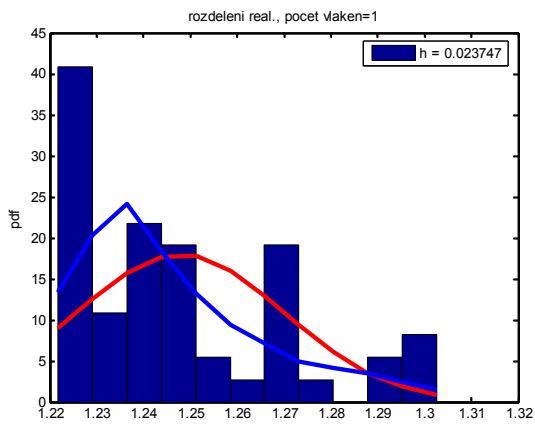
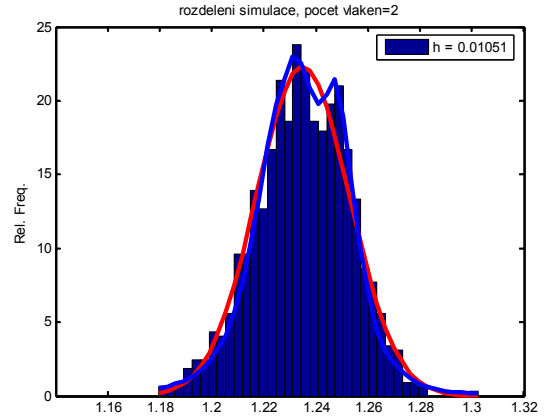
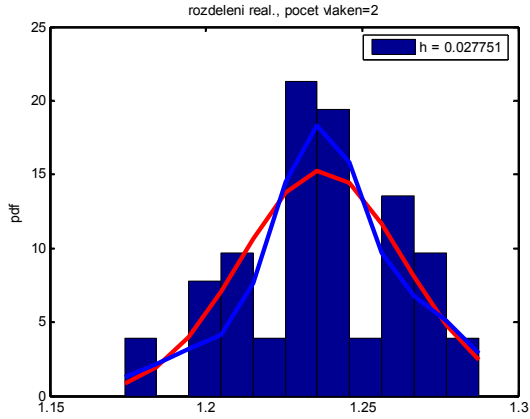
Obr.13 Grafy experimentu pevnosti monofilu na upínací délce 200 mm

Obr.14 Grafy simulace pevnosti monofilu na upínací délce 200 mm



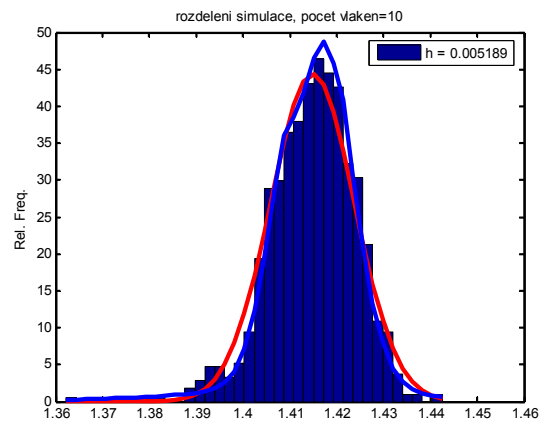
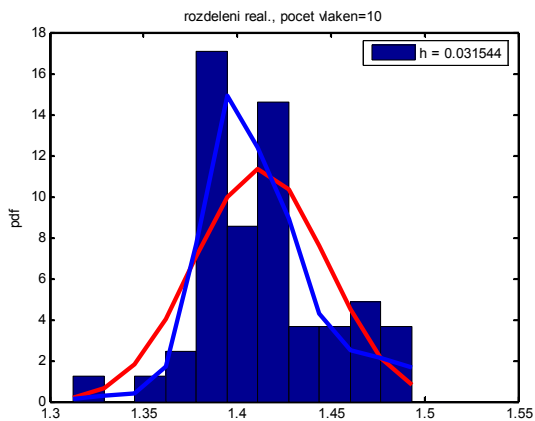


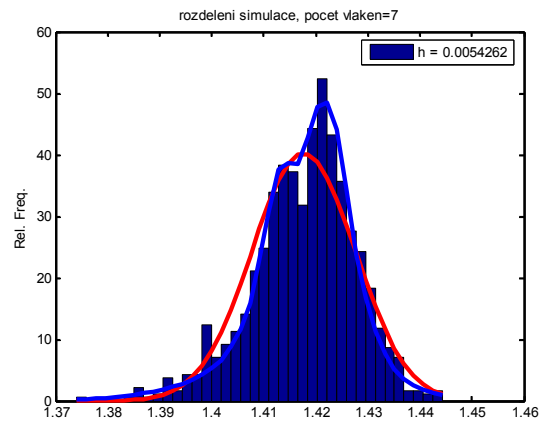
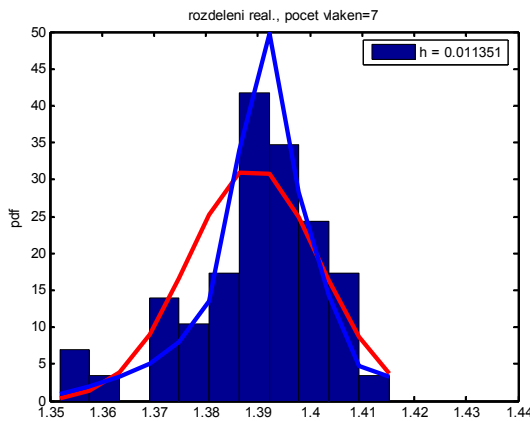
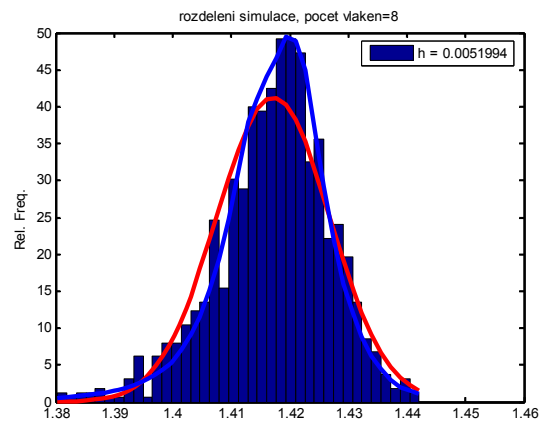
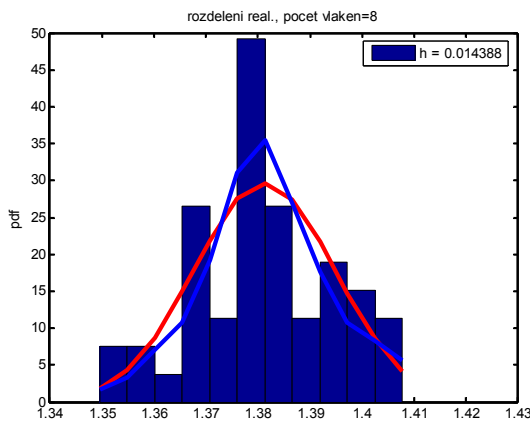
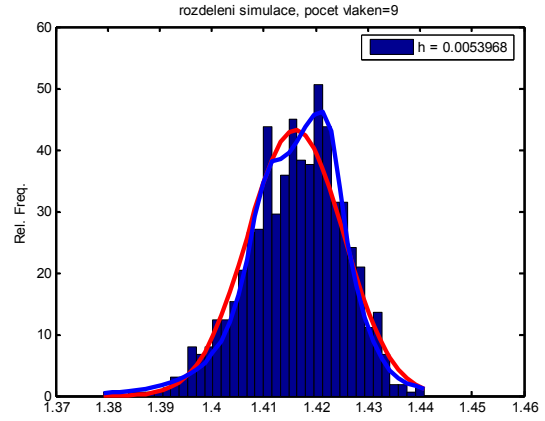
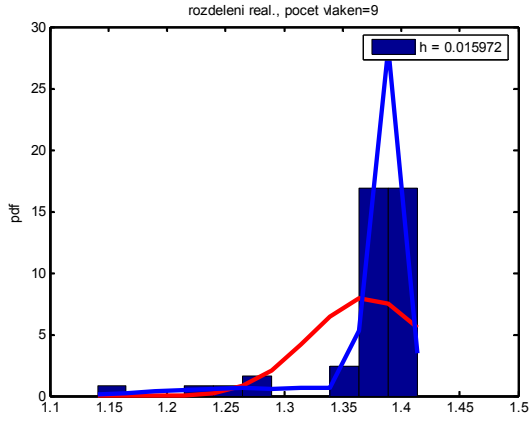


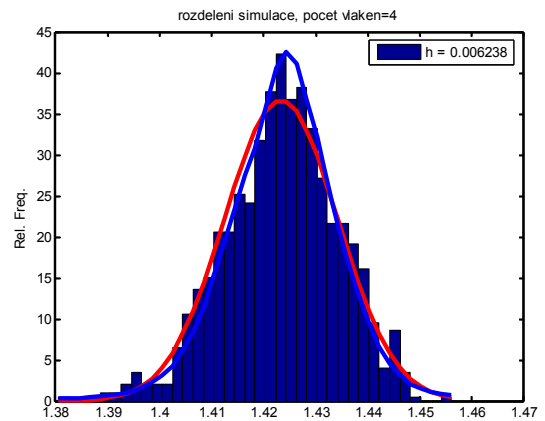
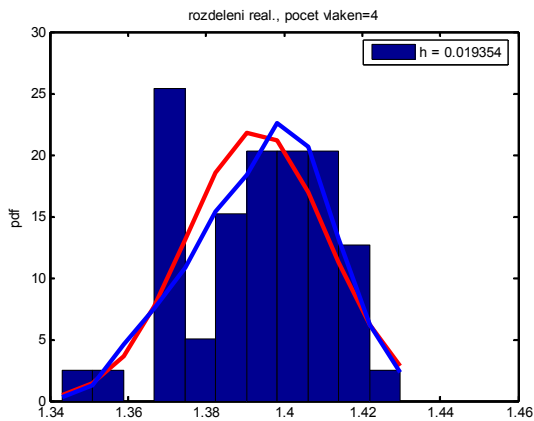
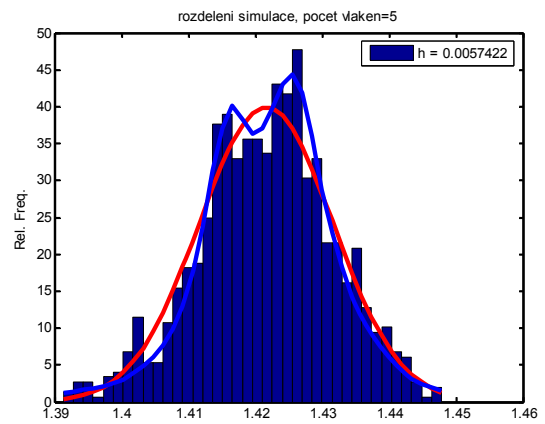
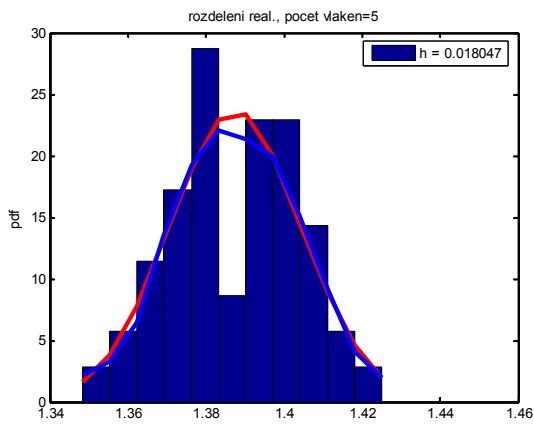
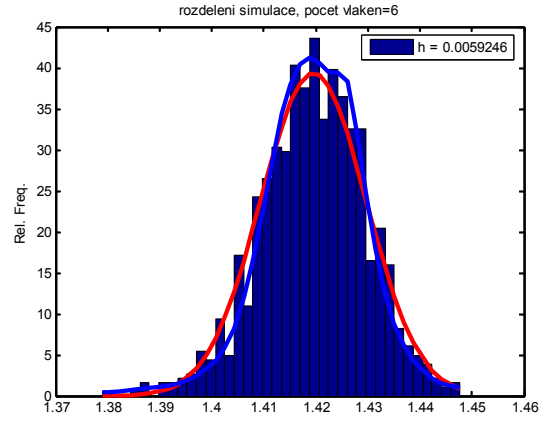
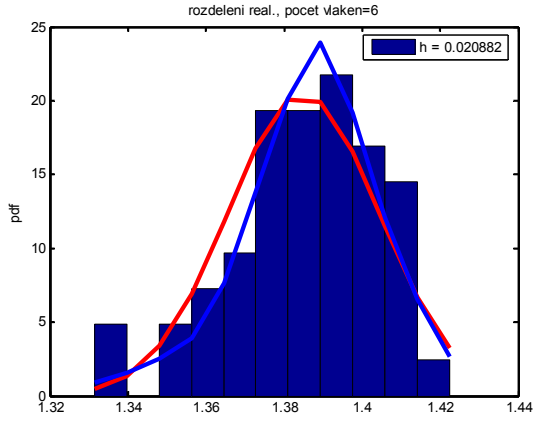


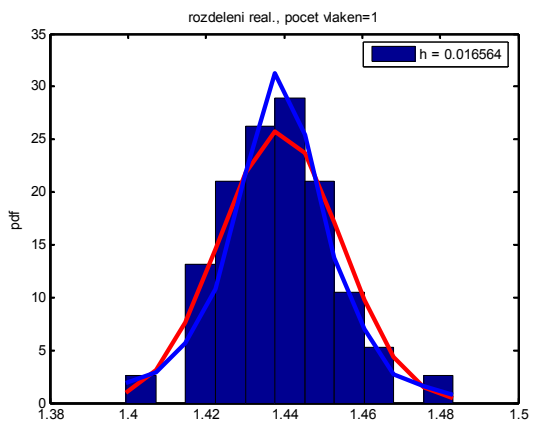
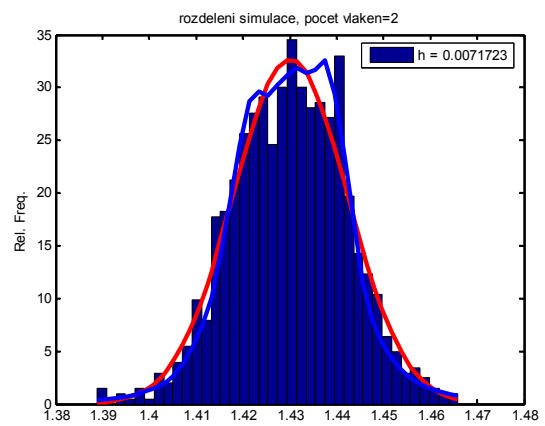
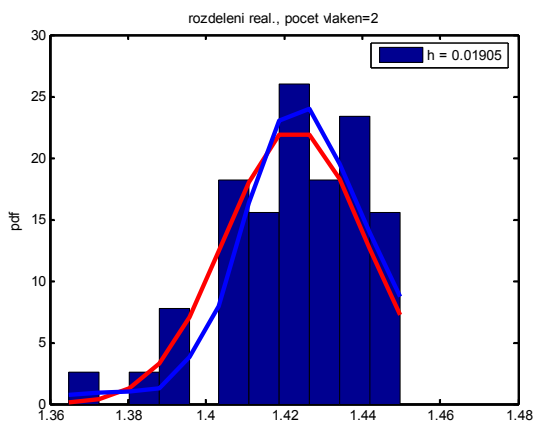
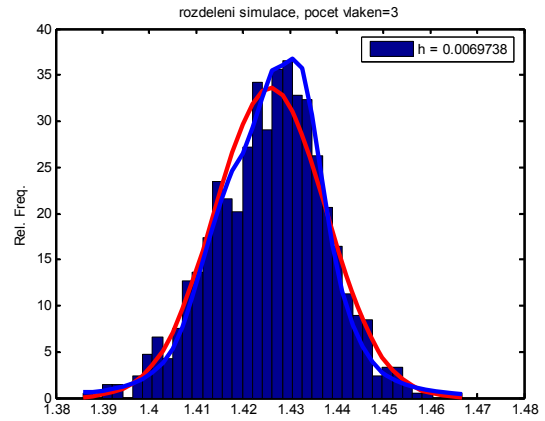
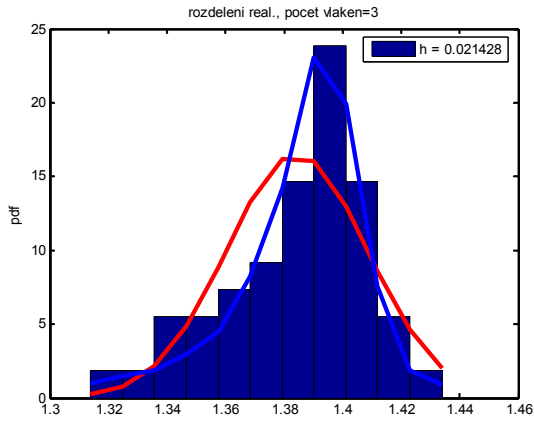
Obr.15 Grafy experimentu pevnosti monofilu na upínací délce 500 mm

Obr.16 Grafy simulace pevnosti monofilu na upínací délce 500 mm



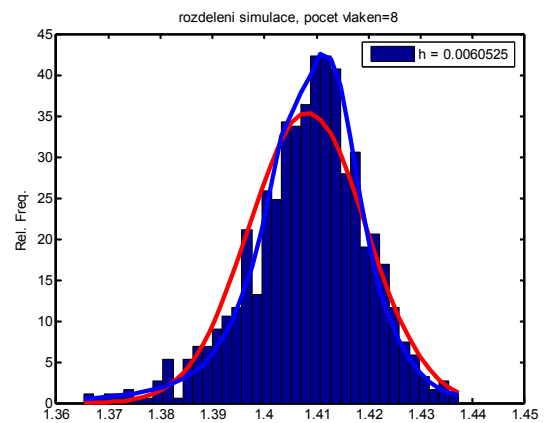
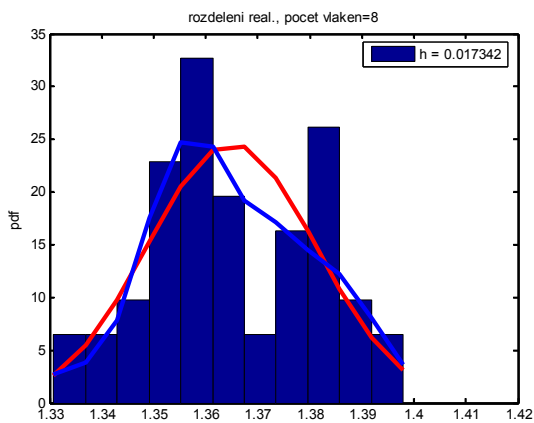
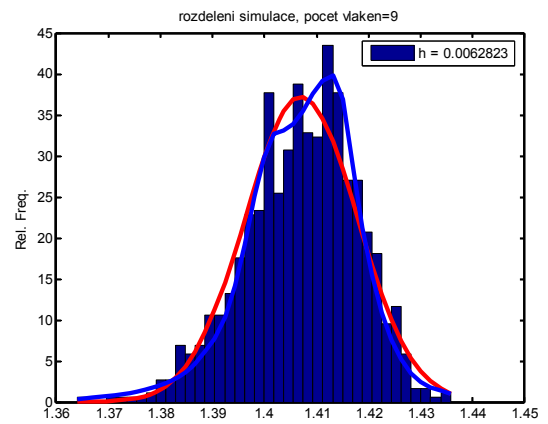
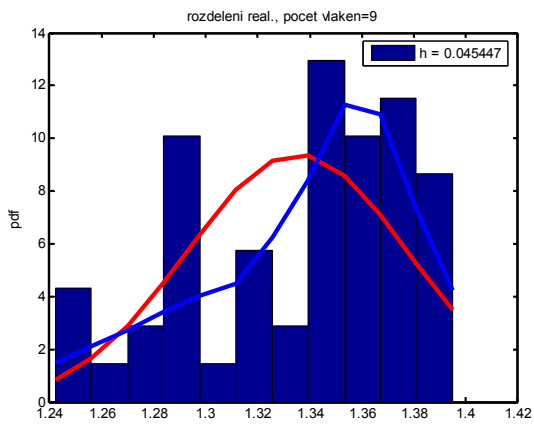
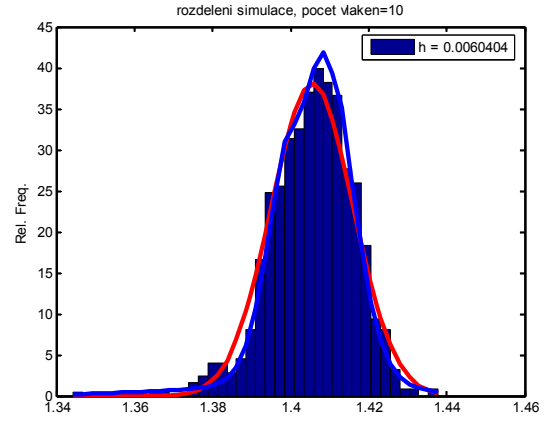
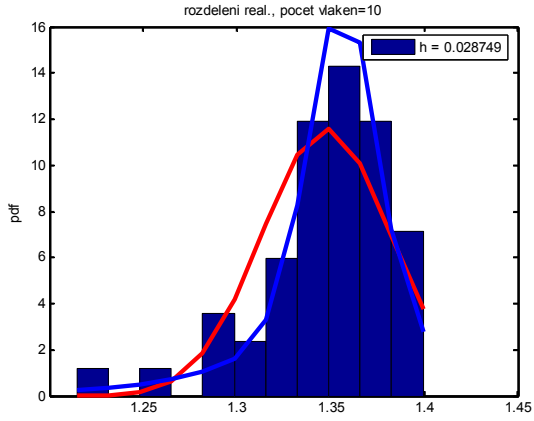


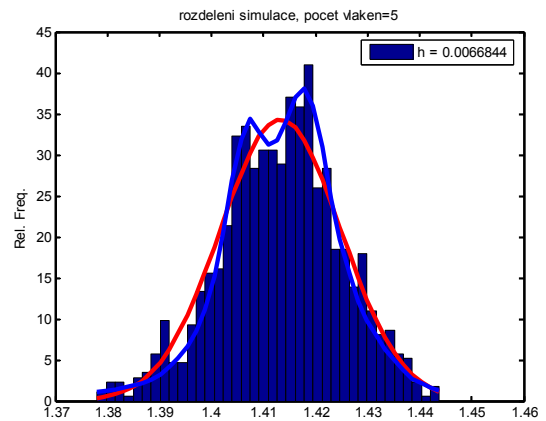
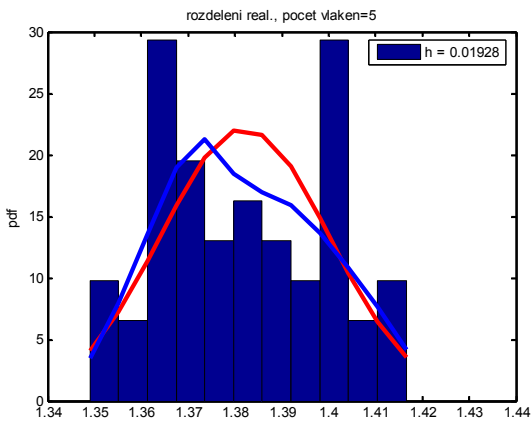
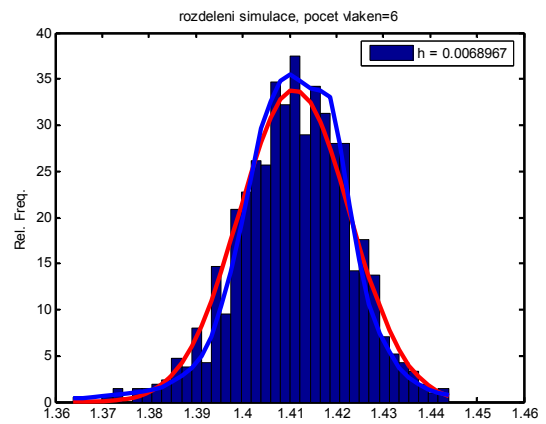
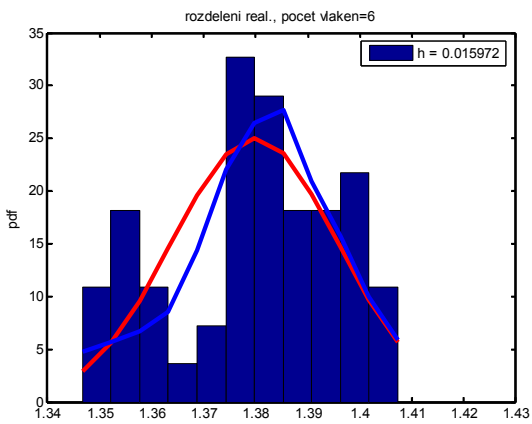
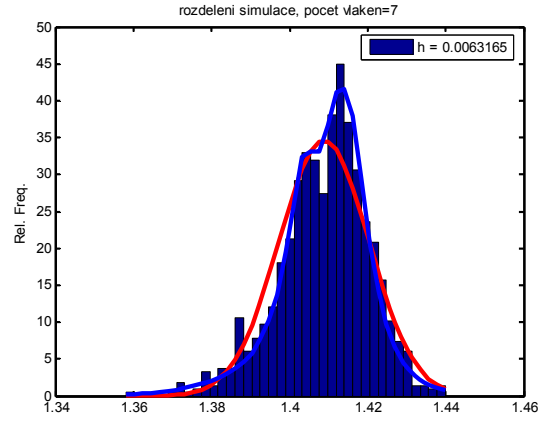
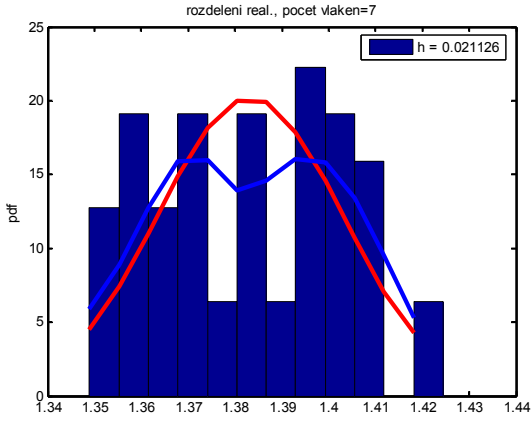


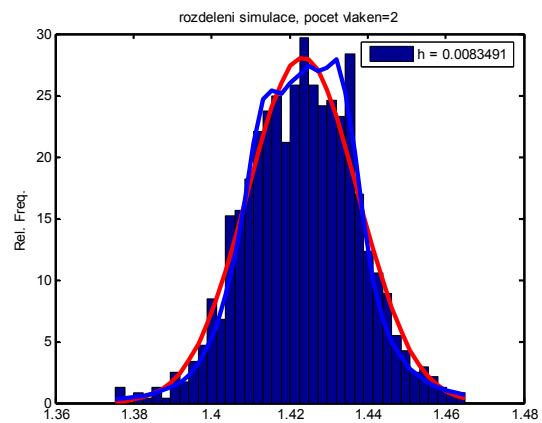
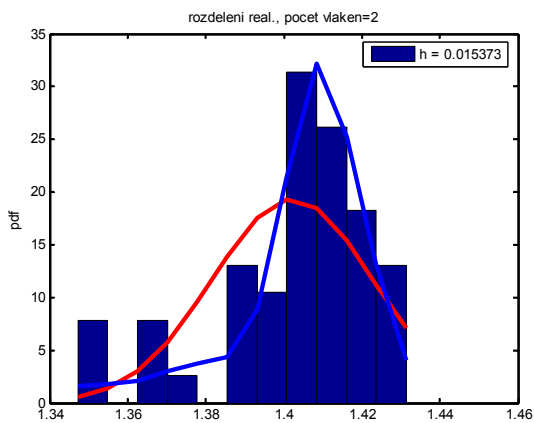
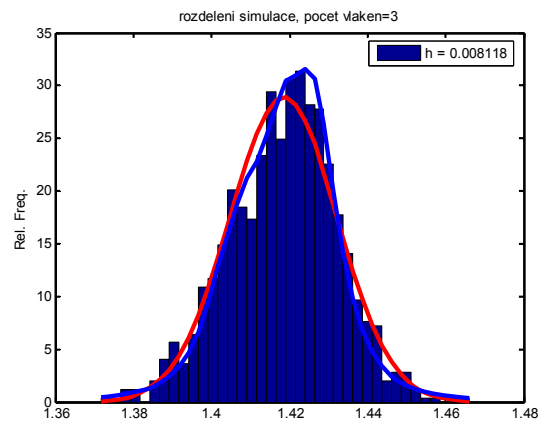
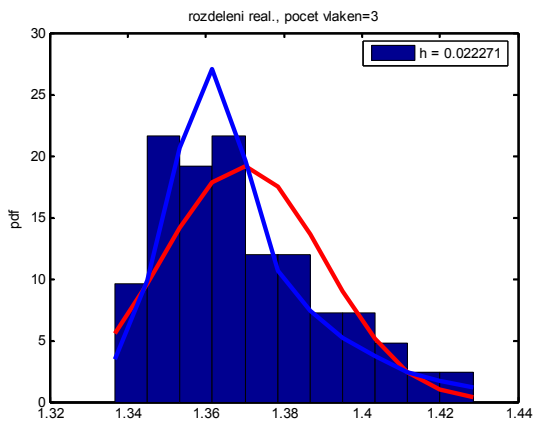
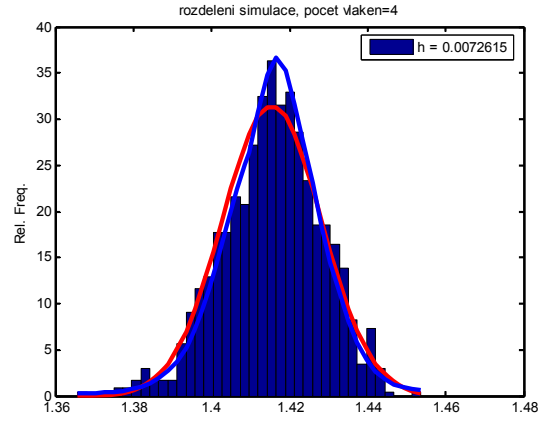
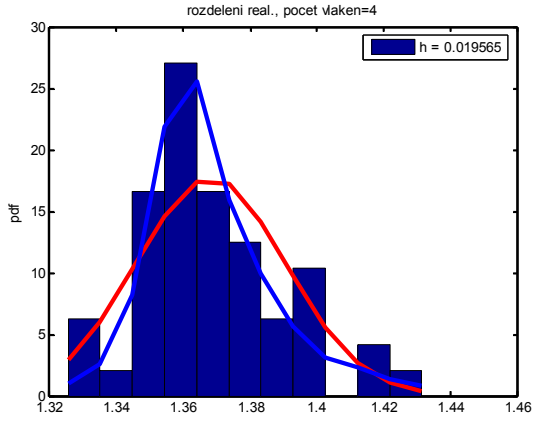


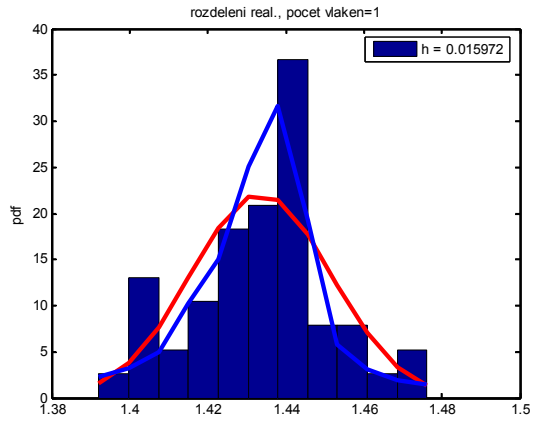
Obr.17 Grafy experimentu pevnosti osnovy na upínací délce 200 mm

Obr.18 Grafy simulace pevnosti osnovy na upínací délce 200 mm





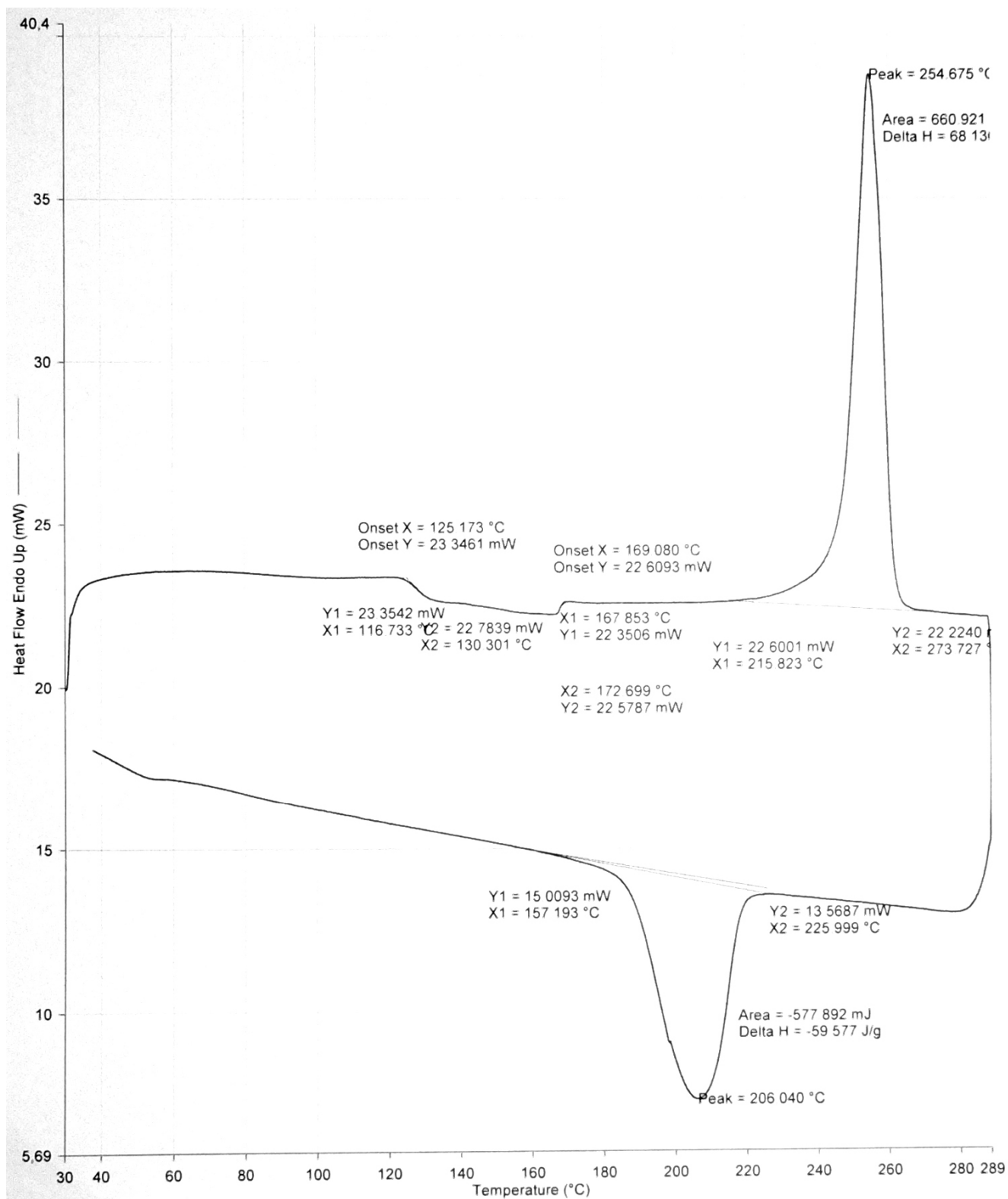




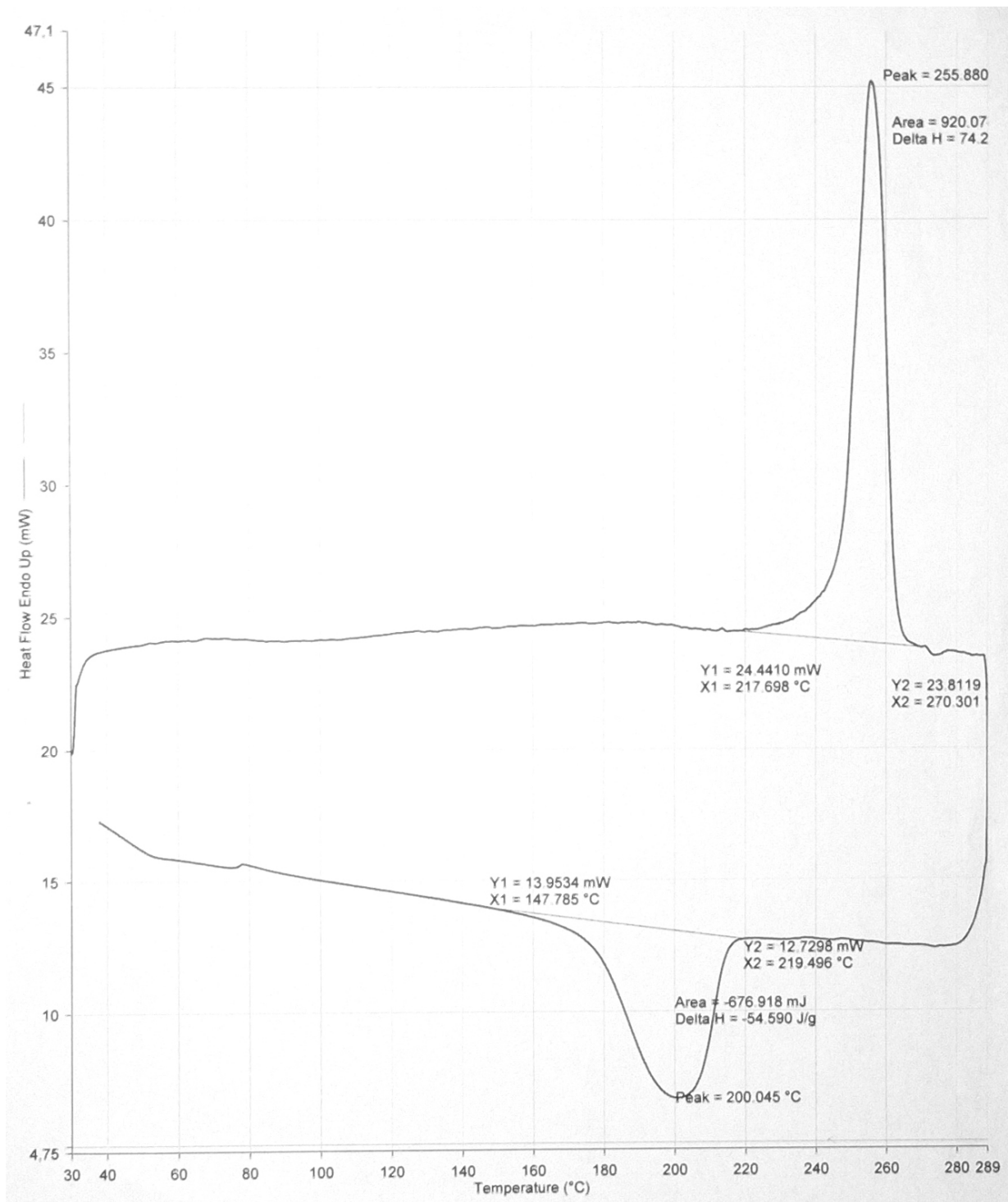
Obr.19 Grafy experimentu pevnosti útku na upínací délce 200 mm

Obr.20 Grafy simulace pevnosti útku na upínací délce 200 mm

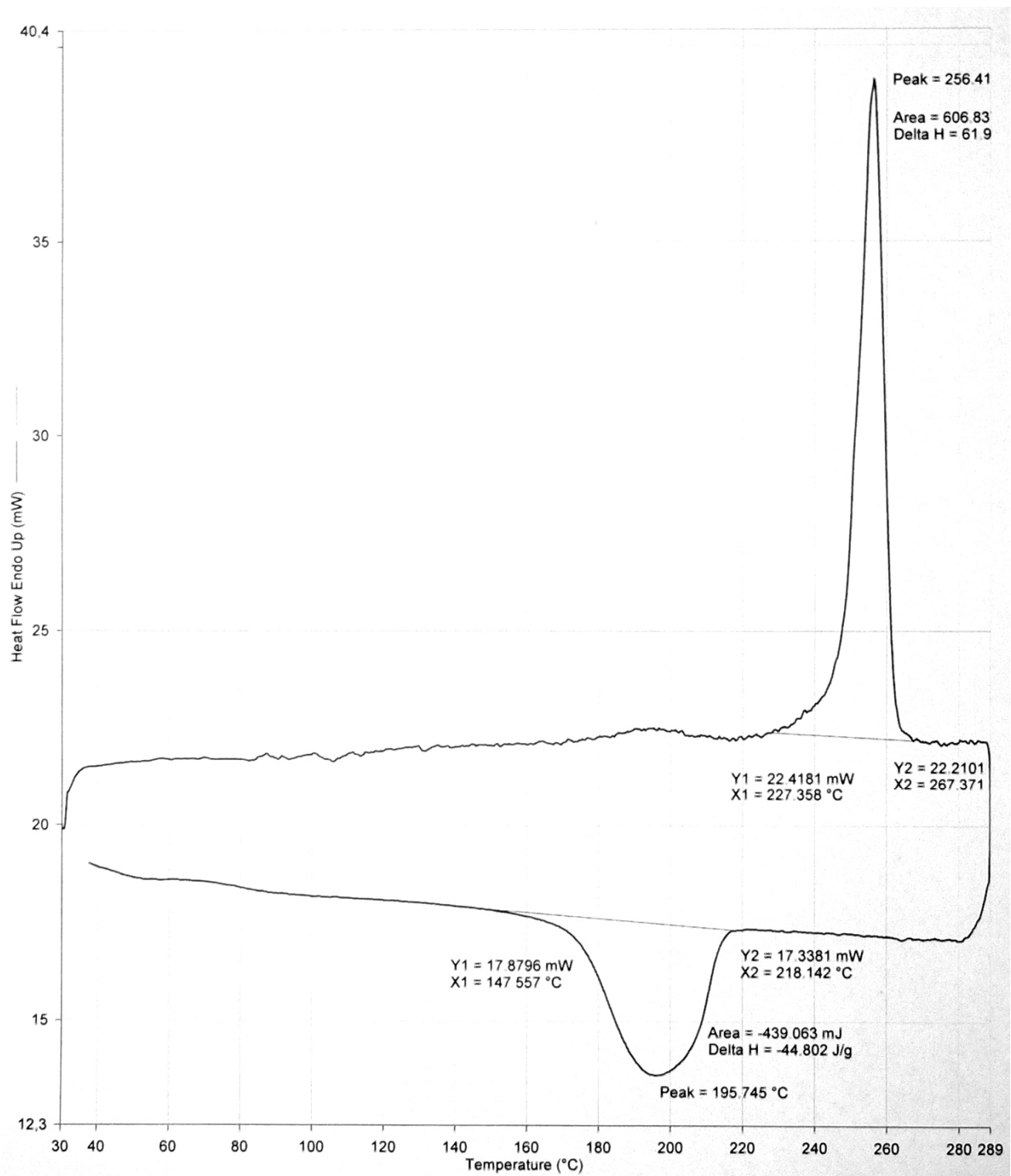
Příloha č.4:



Obr.21 Tepelná křivka monofilu



Obr.22 Tepelná křivka osnovy



Obr.23 Tepelná křivka útku

