



**TECHNICKÁ UNIVERZITA
V LIBERCI**



Fakulta textilní

Katedra hodnocení textilií

Navazující magisterský studijní program: N3108 Textil

Studijní obor: Produktový management - 3106T014-80

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Název práce: **ALTERNATIVNÍ NÁHRADA VLÁKNA
PA6 FDY 67f12 SD RD CPS PŘI VÝROBĚ MÍČŮ.**

Name of thesis: **ALTERNATIVE SUBSTITUTES FOR FIBER
PA6 FDY 67f12 SD RD CPS IN BALLS PRODUCTION**

Kód: KHT - 065

Autor diplomové práce: Bc. Jana Křečková

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vladimír Kovačič

Konzultanti: Ing. Ivan Dostál, Ing. Vladimír Barnet

Počet stran	Počet obrázků	Počet tabulek	Počet příloh
95	44	49	4

Liberec 2011

Zadání diplomové práce

(vložit originál)

PROHLÁŠENÍ

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

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

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

V Liberci dne 13. 5. 2011

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Především bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Vladimíru Kovačičovi, za odborné vedení a poskytování rad v průběhu zpracovávání diplomové práce. Další poděkování patří panu Ing. Ivanovi Dostálovi a panu Ing. Vladimíru Barnetovi za konzultace poskytnuté v podniku Gala a.s.

Současně bych chtěla poděkovat své rodině za morální a materiální podporu, která mi umožnila studium na vysoké škole.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá hledáním alternativní náhrady vlákna PA6 FDY 67f12 SD RD CPS, při výrobě volejbalových míčů společnosti Gala a.s.

V teoretické části je proveden průzkum dané problematiky, který zahrnuje analýzu výrobního procesu lepených volejbalových míčů, definici parametrů volejbalových míčů a požadavky kladené na alternativní náhradu vlákna. V teoretické části je provedena rešerše možných vlákenných náhrad s přehledem jejich charakteristických vlastností. Praktická část obsahuje popis a výsledky zkoušek prováděných na alternativních vláknech a jejich vyhodnocení statistickými metodami. Na základě porovnání výsledků experimentu s poznatky získanými v teoretické části, jsou v závěru práce navržena možná teoretická východiska řešení problému.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Vlákno, volejbalový míč, pevnost, rázová síla, odskok, náhrada (alternativa).

ANNOTATION

This diploma thesis focuses on searching for an alternative substitute for the fibre PA6 FDY 67f12 SD RD CPS in the production of volleyball balls by the company Gala a.s.

In the theoretical part, a research in the given field, which includes the analysis of the manufacturing process of glued volleyball balls, the definition of volleyball balls parameters and requirements on the alternative substitute of the fibre, is executed. In the theoretical part, a search of possible fibrous substitutes along with a list of their characteristics is also carried out. The practical part contains the description and results of tests executed on alternative fibres and their evaluation using statistics methods. Based on the comparison of the results of the experiment with the information obtained in the theoretical part, possible theoretical solutions to the problem are suggested in the conclusions.

KEY WORDS:

Fibre, volleyball ball, solidity, impact force, rebound, substitute (alternative).

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:

Δl	- absolutní deformace [mm]
den	- denier: jednotka jemnosti vlákna
E	- modul pružnosti v tahu [N/tex]
$\bar{E}$	- stupeň elasticity [1]
F	- síla [N]
FIBA	- Mezinárodní basketbalová federace
FIVB	- Mezinárodní volejbalová federace
l	- délka vzorku [m]
l_0	- původní (upínací) délka [mm]
m_0	- hmotnost klimatizovaného vzorku [g]
m_1	- hmotnost mokrého vzorku [g]
N	- nasákavost vzorku [%]
n	- počet prvků
P	- tlak [Pa]
R	- rozpětí [1]
S	- plocha [m ²], bodový odhad směrodatné odchylky
S^2	- bodový odhad rozptylu
t	- čas [s]
T	- jemnost vlákna [tex; dtex]
tex	- jednotka jemnosti vlákna
Tg	- teplota zesklňování [°C]
Tm	- teplota tání [°C]
v	- variační koeficient [%]
$\tilde{x}$	- medián
$\bar{x}$	- průměrná hodnota
x_i	- hodnota i-tého prvku
α	- hladina spolehlivosti
ϵ	- poměrné prodloužení [1]
ϵ_c	- deformace celková [mm], [%]
ϵ_e	- deformace elastická [mm], [%]

ϵ_{eo}	- deformace elastická okamžitá [mm], [%]
ϵ_{ez}	- deformace elastická zotavená [mm], [%]
ϵ_p	- deformace plastická [mm], [%]
ϵ_{po}	- deformace plastická okamžitá [mm], [%]
ϵ_{pz}	- deformace plastická zotavená [mm], [%]
φ	- vlhkost [%]
μ	- střední hodnota
σ	- směrodatná odchylka, napětí
Σ	- součet

OBSAH:

ÚVOD.....	10
1. DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ	11
2. FORMULACE PROBLÉMU A VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE	13
3. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU.....	14
3.1 Charakteristika podniku Gala a.s.	14
3.2 Volejbalové míče Gala a.s.....	15
3.3 Úloha vlákna při výrobě míče	17
3.3.1 <i>Princip výroby volejbalového míče.....</i>	<i>17</i>
3.3.2 <i>Navinutí vlákna na vzdušnici</i>	<i>20</i>
4. DEFINICE NÁROKŮ NA SLOŽKY MÍČE.....	21
4.1 Definice parametrů míče	21
4.1.1 <i>Parametry míče ovlivněné návinem</i>	<i>21</i>
4.2 Definice nároků na vlákno	23
4.2.1 <i>Vlastnosti vlákna ovlivňující herní vlastnosti míče.....</i>	<i>23</i>
5. PRŮZKUM VLÁKENNÝCH ALTERNATIV	26
5.1 Polyamidová vlákna	26
5.2 Polyester (PES)	28
5.3 Polypropylen (PP)	29
5.4 Polyuretan (EL) – Lycra.....	30
5.5 Polyakrylonitril (PAN).....	31
6. EXPERIMENTÁLNÍ DATA – STATISTICKÁ ANALÝZA.....	33
6.1 Teorie odhadu.....	34
6.2 Testování statistických hypotéz	39
6.3 Grafické vyjádření statistické analýzy	41
7. EXPERIMENT	43
7.1 Průběh zkoušek a použité zařízení	43
7.2 Provedení experimentu.....	54
7.2.1 <i>PA6 FDY 67f12 SD RD CPS – stávající výroba</i>	<i>54</i>

7.2.2	<i>Vlákno PA6 FDY 33f12 SD RD IN</i>	59
7.2.3	<i>Vlákno PA6 FDY 56f17 SD RD IN</i>	62
7.2.4	<i>Vlákno PA6 FDY 67f13</i>	66
7.2.5	<i>Vlákno PA6 FDY 67f14 SD RD IN</i>	69
8.	ANALÝZA A DISKUZE VÝSLEDKŮ	72
8.1	Pevnost	72
8.1.1	<i>Porovnání závislosti sledovaných znaků pevnosti vláken</i>	73
8.2	Cyklické namáhání.....	75
8.2.1	<i>Porovnání závislosti sledovaných znaků cyklického namáhání vláken</i>	75
8.3	Pružnost.....	78
8.3.1	<i>Porovnání závislosti sledovaných znaků pružnosti vláken</i>	79
8.4	Nasákavost	80
8.4.1	<i>Porovnání závislosti sledovaných znaků nasákavosti vláken</i>	80
8.5	DSC – tepelné charakteristiky.....	82
8.6	Rastrovací elektronová mikroskopie.....	82
9.	PŘEHLED DOSAVADNÍCH VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ V GALA a.s.	83
9.1	Regulace parametrů míče pomocí smáčedla Texafob LJ 100.....	84
10.	TEORETICKÁ VÝCHODISKA ŘEŠENÉHO PROBLÉMU	85
10.1	Návrh vláknenné alternativy.....	85
10.1.1	<i>Složení alternativní náhrady vlákna</i>	86
10.2	Varianty řešení spojování vláken na povrchu vzdušnice	87
	ZÁVĚR	89
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	91

ÚVOD

V současné době působí na světovém trhu čtyři výrobci volejbalových míčů, kteří mají některý ze svých výrobků homologován (certifikován) pro hru v nejvyšších mezinárodních soutěžích. Jedním z nich je společnost Gala a.s. se sídlem v Krasicích u Prostějova, která je současně také jediným výrobcem špičkových míčů v Evropě. Pro získání homologace musí míč splňovat parametry předepsané Mezinárodní volejbalovou federací (FIVB).

Předmětem této diplomové práce je hledání alternativní náhrady vlákna¹ PA6 67f12 SD RD CPS, při výrobě volejbalových míčů ve společnosti Gala a.s., a návrh možných modifikací výroby, za účelem regulace vybraných parametrů hotového míče (odstranění latexu z výrobního procesu – snížení rázové síly, zvýšení odskoku). Práce je členěna do dvou hlavních celků a to na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část je zaměřena na detailní rozbor problematiky výroby volejbalových míčů, která zahrnuje popis výroby míčů, význam vlákna při výrobě a jeho vliv na výsledné parametry míče. Dále jsou definována kritéria pro výběr alternativní náhrady dosud používaného vlákna. V této části bude také provedena analýza možných variant vláken s charakteristikou těch vlastností, které mají vliv na výsledné parametry míčů.

Praktická část práce se věnuje vlastnímu experimentu, kdy se vhodná alternativní vlákna podrobí zkouškám mechanických a fyzikálních vlastností a obrazové dokumentaci. Základním technickým vybavením pro testování vláken, je zkušební trhací přístroj LABTEST 2.010, přístroj pro zjišťování tepelných charakteristik vzorků Perkin Elmer DSC6 a rastrovací elektronový mikroskop VEGA TS 5130. V závěru experimentální části je věnována pozornost současnému stavu řešeného problému v podniku Gala a.s.

Cílem práce je návrh alternativní náhrady současně používaného vlákna PA6 FDY 67f12 SD RD CPS a teoretický popis možných modifikací výroby.

¹ Autorka na tomto místě upozorňuje na nesprávnost pojmu vlákno ve výrobě volejbalových míčů. Z textilní terminologie se jedná o nit složenou z nekonečných vláken. Zde však byla snaha zachovat firemní názvosloví, aby práce byla přínosná pro firmu GALA a.s.

1. DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ

Vlákno - je délková textilie, charakteristická vysokým poměr délky k průřezu vlákna. Může mít různý původ (přehled označení různých typů vláken viz příloha A), různé profily a délky. Skládá-li se vlákno z více nekonečných chemických vláken (**filamentů**), používá se označení **multifil**. Filamenty mohou být hladké nebo tvarované. Jemnost vláken je z pravidla udávána v jednotkách [dtex], popř. [den] (denier). Výpočet jemnosti vlákna v uvedených jednotkách se řídí vztahy (1.1) a (1.2). Celková jemnost multifilu, je menší než 2000 dtex. [1], [2]

$$1 \text{ den} = \frac{m [g]}{9000 m} \quad (1.1)$$

$$1 \text{ tex} = \frac{m [g]}{1000 m}; \quad 1 \text{ dtex} = \frac{1}{10} \text{ tex} \quad (1.2)$$

Z uvedených vztahů vyplývá vzájemný přepočet jednotek [den] a [dtex], viz rovnice (1.3). Tyto jednotky jsou v zásadě totožné, a proto se běžně používá místo denier decitex. Přepočet je v práci uveden z důvodu používání jednotky [den] u asijských konkurentů společnosti Gala a.s.

$$1 \text{ den} = \frac{1}{9} \text{ tex}; \quad 1 \text{ dtex} = \frac{10}{9} \text{ den} \quad (1.3)$$

Vzdušnice - je to polotovár skládající se z přírodního kaučuku a butylkaučuku. Slouží jako základní stavební jednotka volejbalových míčů. Vzdušnice mají různou váhu, která zajišťuje při kompletaci s různými typy vrchových materiálů požadovanou hmotnost. Používají se tři váhové kategorie vzdušnic: 65 - 75 g, 75 - 85 g, 110 - 120 g. V současné době se zkouší nová hmotností skupina 70 - 80 g. Váha hotového volejbalového míče je 260 - 280 g, tj. vzdušnice, multifil (návin), latex, lepidlo a panely vrchového materiálu.

Vulkanizace - je nevratný proces, kterým se zpracovávají syntetické a přírodní kaučuky. Jedná se o chemickou reakci, při níž dochází ke vzniku jedné velké makromolekuly - druh sesíťování, vytvářející pružný spoj.

Panely míče - jsou tvarované díly vrchového materiálu, které tvoří svrchní obal. Na

volejbalové míče se nejčastěji používá syntetická polyuretanová useň (netkaná textilie + PU), v některých případech s dezénem golfového míčku.

Homologace - je ověření vlastností výrobku z hlediska přípustnosti jeho použití. Homologovaný výrobek má úřední souhlas s použitím pro daný účel. [3]

Rázová síla míče - je síla působící na konstrukci míče v okamžiku kontaktu s odrazovou plochou. Míč je schopen energii síly částečně absorbovat a tím snížit sílu rázu a jeho účinky. Rázová síla je udávána v [N] (newtonech).

Odskok míče - je výška odrazu míče od podložky, při volném pádu vlastní vahou. Hodnoty odskoku jsou uváděny v [cm].

2. FORMULACE PROBLÉMU A VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

Jedním z důvodů hledání vlákenné alternativy, je ztráta výrobce a dodavatele vlákna - slovenské společnosti Chemlon a.s. Světová ekonomická krize, která se v roce 2007 postupně dostávala do Evropy, způsobila pokles poptávky po výrobcích. Docházelo tak ke snižování výrobního množství a zisků, což v některých případech vedlo až ke zkrachování podniku. Jedním z příkladů tohoto dopadu krize na podnik, je právě společnost Chemlon a.s. se sídlem v Humenném. Jedná se o podnik vyrábějící chemická vlákna určená především pro oděvní průmysl. Společnost současně představovala dodavatele vlákna PA6 67f12 pro výrobu lepených míčů společnosti Gala a.s.

Při řešení problému hledání nového výrobce, vznikl současně požadavek na nalezení alternativní náhrady dosud používaného vlákna. Důvodem hledání vhodné náhrady je zlepšení těch vlastností, které rozhodujícím způsobem ovlivňují výsledné parametry hotového míče a technologii výroby.

Z tohoto pohledu je nejvýznamnějším požadavkem na nové vlákno **snížení míry nasákavosti**, která má vliv na velikost odskoku a rázovou sílu, jejichž hodnoty jsou ve vzájemné závislosti. Parametr nasákavosti vlákna má také vliv na množství latexu a lepidla zachyceného ve vláknech při výrobě míčů. Tento jev ve výsledku opět vede k nežádoucímu zvyšování rázové síly. Proto dalším požadavkem na náhradu současného vlákna, je **umožnit odstranění latexu** při výrobě a to buď vlivem vlastností nového vlákna, nebo modifikací výroby.

Na základě uvedeného problému, byly vymezeny následující cíle diplomové práce:

- definice vlastností vlákna, které mají vliv na výsledné parametry míče
- analýza možných vlákenných alternativ
- experimentální ověření mechanických a fyzikálních vlastností vybraných vláken a vlákna současně používaného
- návrh vhodné alternativní náhrady vlákna PA6 67f12 na základě zjištěných poznatků z experimentální a teoretické části práce
- analýza současného stavu řešeného problému ve společnosti Gala a.s
- návrh možností odstranění latexu z výroby míčů

3. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

3.1 CHARAKTERISTIKA PODNIKU GALA A.S.

Společnost Gala a.s. se jako jediná v Evropě zabývá výrobou špičkových volejbalových míčů, míčů pro házenou a nohejbal a dále je dodavatelem basketbalových, fotbalových a dalších druhů sportovních míčů. Výrobky společnosti Gala a.s. jsou určeny pro profesionální, výkonnostní i rekreační sport, přičemž vysokou kvalitu míčů potvrzují certifikáty mezinárodních federací FIVB a FIBA.

Nabídka společnosti Gala a.s. zahrnuje také zakázkovou výrobu batohů a šitých doplňků pro armádu, policii a záchranářské složky, dále nosičů na zahradní techniku, boxovacích pytlů a dalšího sortimentu těžké galanterie. Mezi významné zákazníky patří např. firma Stihl, Decathlon, Scott&Tyco, armády zemí EU, Ministerstvo vnitra ČR a další.

Společnost Gala byla založena jako národní podnik v roce 1949 v Šumperku. Vznikla reorganizací podniku KOZAK, kožedělné závody Klatovy. Původní výrobní program se orientoval na výrobu koženého, brašnářského a sedlářského zboží, ale částečně také na zpracování umělých hmot a výrobu kufrů. Od roku 1951 se Gala rozšířila do současného místa působení v Krasicích u Prostějova. Záhy na to byl mateřský podnik v Šumperku zrušen a veškerá výroba přesunuta do Krasic. Tou dobou, měl podnik přibližně 2500 zaměstnanců v 7 závodech po celé ČR, které však postupně zanikaly. Během svého působení na trhu Gala několikrát změnila výrobní produkci, která se ustálila na současném sortimentu výrobků. Typickým druhem výroby však byla a do současnosti je, výroba sportovního zboží. Stěžejní skupinou jsou sportovní míče především volejbalové, dále pak medicínské a fotbalové. V roce 1996 byl původní státní podnik privatizován a nyní je akciovou společností 100 % vlastněnou rodinnou firmou Rega Přerov a.s. Od roku 2000 používá Gala systém managementu jakosti ISO 9001. Společnost zaměstnává přibližně 250 zaměstnanců a je tvořena jedním závodem v Prostějově - Krasicích.

Dnes již působí Gala na trhu 60 let a 90 % produkce exportuje do více než 30 převážně evropských zemí jako je např. Holandsko, Belgie, Maďarsko, Rusko, Polsko, Německo ad. [4]

3.2 VOLEJBALOVÉ MÍČE GALA A.S.

Výrobu sportovních míčů lze tedy v zásadě rozdělit na **míče šité** (především míče fotbalové, házenkářské, míče pro plážový volejbal) a **míče lepené** (především volejbalové). Dle nároků na technické parametry míčů, kvalitu použitých materiálů a nároků na životnost, se míče rozdělují do tří až čtyř kategorií. A to na míče určené na profesionální nebo výkonnostní použití např. extraliga a střední soutěže. Dále pak na míče pro trénink a školní potřeby a nejnižší kvalitativní třída zahrnuje míče používané pro volnočasové aktivity. Fotbalové míče zahrnují navíc kategorii speciálních míčů, jejichž povrch může být tvořen textilní plstí a jsou určeny pro použití na halovou kopanou, tedy tzv. indoor míče. Speciální kategorii mají i míče házenkářské a jedná se o míče určené pro tradiční odvětví házené a to tzv. národní házenou. Tabulka 3.1 prezentuje přehled jednotlivých typů míčů a jejich technologie výroby.

Tab. 3.1 Přehled sportovních míčů a technologie výroby [5].

Typ míče	Kategorie	Technologie výroby	Počet panelů
Volejbal	A...profesionální	lepená	10, 18
	B...trénink a škola	lepená	10, 18
	C...volný čas	lepená	18
Plážový volejbal	A...profesionální	šitá	18
	B...trénink a škola	šitá	18
	C...volný čas	šitá, lepená	18
Fotbal	A...profesionální	šitá	32
	B...výkonnostní	šitá	32
	C...rekreační	šitá	32
	D...speciální	šitá, lepená	32
Nohejbal	A...profesionální	lepená	32
Basketbal	A...profesionální	lepená	8
	B...výkonnostní	lepená	8
	C...gumové	lepená	8
Házenkářské, medicínální	A...profesionální	šitá	32
	B...trénink a škola	šitá	32
	C...speciální	lepená	18

Nejrozšířenějším typem sportovních míčů, se kterými Gala a.s. zaznamenala velký úspěch, jsou míče volejbalové. Výroba těchto míčů prošla za dobu působení Galy na trhu, řadou změn a inovací.

Od roku 1965 byla málo produktivní ruční šitá výroba, nahrazena technologií vulkanizace hlavních dílů usně s podlepem. Bylo tak dosaženo lepší kulatosti míčů a neprůtržnosti vrchních usní. V roce 1973 rozhodla FIVB o používání míčů Gala **Premier** na nejvyšších světových soutěžích. Povrch míče tvořila nejkvalitnější kůže (hovězina), která byla laminována dvojnásobnou vrstvou spojeného textilu.

K posílení image značky došlo v roce 2000 uvedením na trh osmnáctidílného, volejbalového míče **Pro-Line** s povrchem ze syntetických usní. Míč byl homologován FIVB a stal se oficiálním hracím míčem v osmi evropských zemích.

Poslední a nejnovější řada volejbalových míčů (obr. 3.1) má moderní 10 panelový design (registrovaný průmyslový vzor EU), který zajišťuje vynikající letové schopnosti. Míč je vyroben z inovovaného PU materiálu se speciální úpravou „dimple“ s dezénem golfového míčku. Míč je homologován FIVB. [4]



Obr. 3.1 Volejbalový míč 10 - panelový [5].

Od počátku byly volejbalové míče vyráběny jako 18 – panelové. Společnost Mikasa uvedla na trh konkurenční výrobek a to 8 – panelový volejbalový míč. Poté Gala provedla designovou inovaci volejbalového míče a vyrobila 20 – panelový míč. Tento výrobek se však neosvědčil jak z hlediska výroby, tak z hlediska předpisů FIVB, která povoluje pro nejvyšší soutěže pouze 8 ~ 18 – ti panelové míče. Jako poslední byl vyvinut již výše zmíněný 10 – panelový míč, který je oficiálně homologován.

Míče s označením **Official Size & Weight** [v doslovném překladu „oficiální

velikost a hmotnost“], jsou míče, u nichž je zajištěna kruhovost (obvod) a hmotnost. Ostatní parametry, jako je rázová síla a odskok, nejsou zaručeny. Snahou však je, co nejvíce se přiblížit předepsaným parametrům. U homologovaných míčů, jsou zajištěny všechny parametry.

3.3 ÚLOHA VLÁKNA PŘI VÝROBĚ MÍČE

V současné době, používá společnost Gala a.s. pro výrobu volejbalových míčů vlákno s označením PA6 FDY 67f12 SD RD CPS. Tato označení udává základní parametry charakterizující dané vlákno. Pro orientaci v označování vláken, která se budou dále v textu vyskytovat, je v tabulce 3.2 uveden význam jednotlivých zkratk.

Tab. 3.2 Význam zkratk v označování vláken.

POZICE ZKRATKY	VÝZNAM	PŘÍKLAD ZKRATKY
1	druh materiálu	PA6
2	dloužené vlákno	FDY
3	jemnost	67
4	počet filamentů	f12
5	vzhled vlákna	SD (polomat)
6	tvar průřezu	RD (kruh), TR (trojúhelník)
7	vlákno je proviřované	IN
8	tvar cívky návinu	CPS - kops

3.3.1 Princip výroby volejbalového míče

1.) Vysekávací stroj pomocí raznice vysekne panely míče. Vyseknutým panelům se srazí hrany, pro zajištění přilnavosti a zaoblení. Po skosení hran, je provedena kompletace panelů potřebných pro výrobu míče (pro výrobu jednoho míče se používají panely dvou tvarů).

2.) Vzdušnice je upevněna v držácích stroje, který otáčí vzdušnicí tak, aby byla zajištěna rovnoměrnost navinutí vláken ze všech stran polotovaru. Vzdušnice jsou 24 hodin před navinováním nafouknuty, za účelem provedení kontroly vzduchotěsnosti.

Před vložením vzdušnice do navíjecího stroje, se provede nafouknutí vzdušnice na požadovaný průměr pomocí kruhového měřidla. Součástí stroje, je nádoba s latexem, kterou vlákna z 6 cívek procházejí těsně před navinutím na vzdušnici. Latex na vláknech, zajišťuje přilnavost vláken k povrchu vzdušnice – zabraňuje sklouznutí vláken ze vzdušnice.

3.) Po navinutí vláken na vzdušnici, je polotovar podroben kontrole na měřiči kulatosti, kde dochází k automatickému vyhodnocení průměru a kulatosti. Tyto parametry mají povolené odchylky, míči je tedy současně přiřazena jakostní třída 1 – 3. Pokud je naměřena hodnota odchylky přesahující 3. jakost, polotovar je označen jako zmetek.

4.) Na takto rozpracovaný výrobek, se ručně nalepují panely vrchového materiálu pomocí lepidla nanášeného na styčnou plochu panelů a vzdušnice ovinuté vláknem. Pro dosažení správné adheze lepidla se polotovary nechají po stanovenou dobu zaschnout.

- Panely se rozloží na podložce a pomocí stříkací pistole se rovnoměrně nanese potřebné množství lepidla.
- Polotovar míče se pomocí smáčecího stroje ponoří do lázně s lepidlem, přebytečné množství lepidla je odstraněno odstředěním.

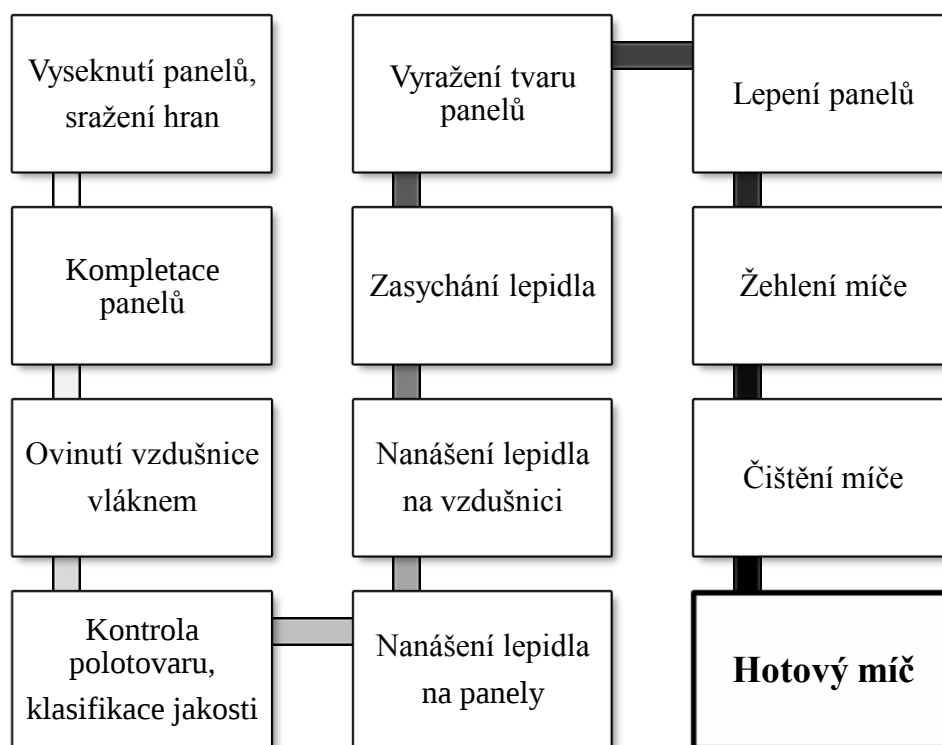
5.) Takto připravený polotovar se vloží do formy, dotlakuje se a za působení tepla (forma je vyhřátá cca na 70°C) a tlaku, po určitou dobu se na polotovar vyrazí tvar panelu míče. Po uplynutí stanoveného času je vzduch z míče upuštěn. V případě otevření formy před upuštěním vzduchu by došlo k deformaci tvaru míče. Dle vyznačených drážek se pak ručně lepí panely vrchového materiálu.

6.) Hotový polepený míč se vloží do formy, dotlakuje se a žehlí po stanovenou dobu za působení tepla a tlaku. Žehlením se provádí i částečná vulkanizace syntetické polyuretanové usně s podlepem a zlepšení vzhledu povrchu míče.

7.) Zbytky lepidla se pak ručně dočistí surovou gumou.

Fotografie navíjecího stroje, latexového zásobníku a měřiče kulatosti viz příloha B.

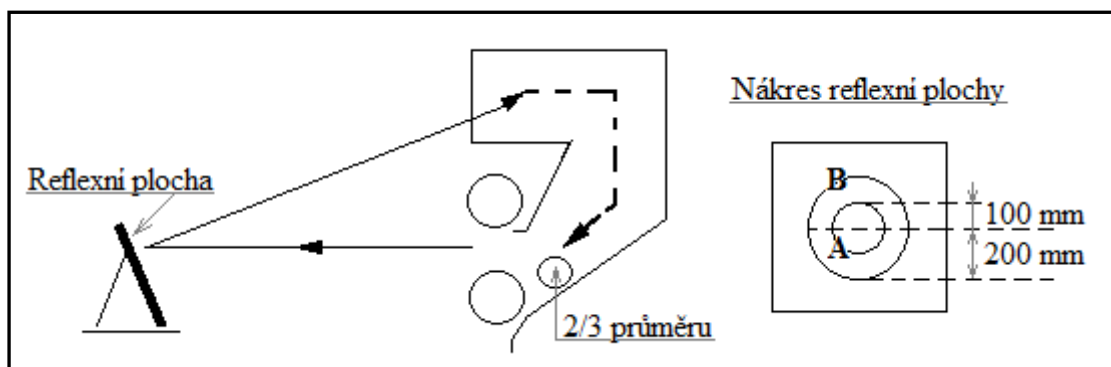
Schéma výroby volejbalového míče technologií ovíjení vzdušnice vláknem viz obr. 3.2.



Obr. 3.2 Schéma výroby volejbalového míče.

Někteří výrobci míčů využívají pro výrobu tzv. sáčkovou technologii, která spočívá v obalení vzdušnice plátnem. Tuto technologii využívá Gala a.s. pro výrobu nohejbalových míčů.

Stanovené procento z výrobní kapacity míčů se testuje na stroji životnosti. Stroj vrhá míč na betonovou podložku rychlostí 50 km/hod. Pro splnění požadované kvality životnosti, musí míč vydržet stanovený počet těchto úderů (cyklů). Špičkové míče vydrží až 100 tisíc cyklů. Schéma na obrázku 3.3 znázorňuje princip činnosti stroje.

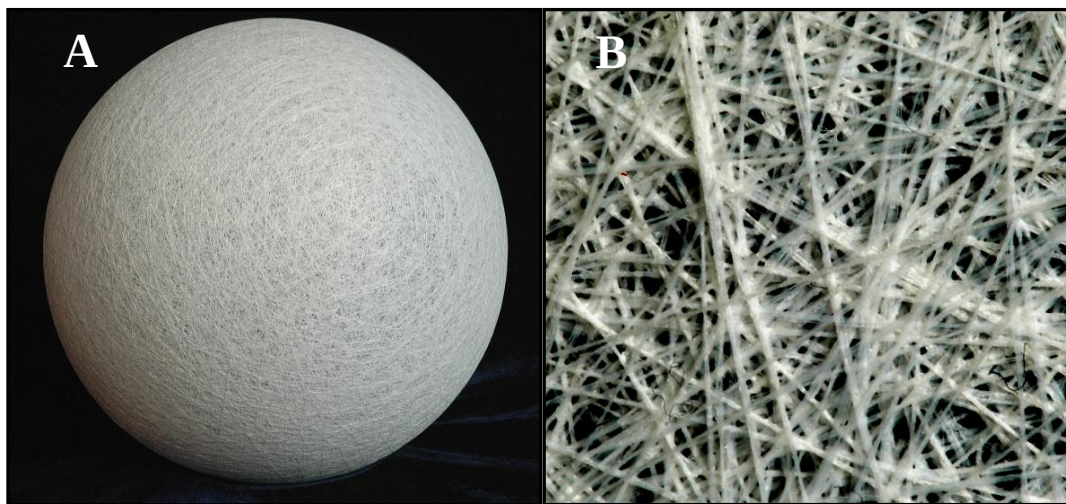


Obr. 3.3 Nákres reflexní plochy a testu životnosti.

Dva válce, otáčející se směrem od sebe, stlačí míč na 2/3 původního průměru, (dodání rychlosti) a vrhají míč proti podložce. Jsou-li zachovány všechny vlastnosti míče, dochází ke kontaktu míče s reflexní plochou uvnitř kruhu B. Míč se od podložky odrazí zpět do horní části stroje a proces se opakuje. Jednotlivé cykly stroj automaticky počítá. Pokud míč vyletí z dráhy cyklu, stroj se zastaví.

3.3.2 Navinutí vlákna na vzdušnici

Při procesu navíjení vlákna, se vzdušnice upevní do držáků navíjecího stroje. Za navíjecím strojem, je na nosné konstrukci uloženo šest cívek s vláknem, které je vedeno přes vodiče nad vzdušnici. Před navinutím na vzdušnici, procházejí vlákna zásobníkem s latexem, který zajišťuje přilnutí vlákna k povrchu vzdušnice a zabraňuje jeho sklouzávání. Navinování vlákna je prováděno tak, aby byl návin na vzdušnici rovnoměrný, se stejným množstvím kontaktů (kontakt = místo překřížení vláken) po celém obvodu polotovaru. Vzhled vzdušnice ovinuté vláknem a detailní pohled struktury návinu viz obr. 3.4 A a B. Parametry návinu viz tabulka 3.3.



Obr. 3.4 Vzdušnice ovinutá vláknem a detail struktury.

Tab. 3.3 Přehled parametrů vlákenného návinu.

PARAMETR	JEDNOTKA	HODNOTA
Průměrná tloušťka	[mm]	1,477
Průměrná hmotnost	[g]	27,99
Délka vláken v návinu	[m]	4000
Čas operace navíjení	[s]	196

4. DEFINICE NÁROKŮ NA SLOŽKY MÍČE

4.1 DEFINICE PARAMETRŮ MÍČE

Hotové míče se podrobují kontrole parametrů v klimatizované místnosti, při teplotách $20^{\circ} \sim 25^{\circ} \text{ C}$, po dobu 48 hodin. Přehled laboratorních požadavků a rozsah jednotlivých parametrů viz tabulka 4.1.

Tab. 4.1 Přehled laboratorních požadavků a standardů volejbalových míčů – dle FIVB.

A.)	Materiál	syntetická kůže
B.)	Počet dílků	min. 8 max. 18 díly
C.)	Barevnost	min. 2 max. 3 barvy
D.)	Hmotnost	$270 \text{ g} \pm 10 \text{ g}$
E.)	Obvod	$66,1 \pm 1,0 \text{ cm}$
F.)	Rázová síla	340 – 360 N
G.)	Výška odskoku	63,0 – 66,0 cm
H.)	Test životnosti	10.000 úderů
I.)	Tlak	$0,30 - 0,325 \text{ kg/cm}^2$
J.)	Doba kontaktu	$8 \pm 0,5 \text{ ms}$
K.)	Detekce zakázaných Azo barviv	
L.)	Test na Pentachloropenol a Tetrachlorpenol	

4.1.1 Parametry míče ovlivněné návinem

Některé z parametrů uvedených v tabulce 4.1, je možné ovlivnit vlákenným návinem. Jedná se především o hmotnost, rázovou sílu a výšku odskoku.

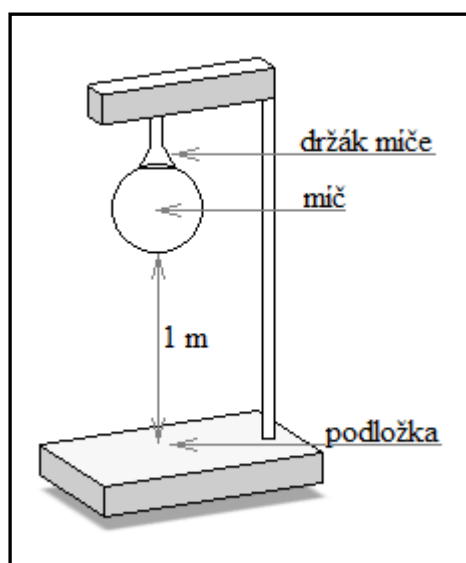
Hmotnost: celková hmotnost míče je tvořena váhou vzdušnice, lepidla, návínu vlákna a vrchového materiálu. Pro schválení míče, se musí hmotnost pohybovat v rozmezí 260~280 g. Výslednou váhu je možné během výroby částečně ovlivňovat:

V první fázi, je to především vzdušnicí (rozdělují se do tří hmotnostních skupin), jejíž váha se volí dle typu vrchového materiálu tak, aby bylo dosaženo požadované hmotnosti hotového míče. Pro špičkové míče se používá váha vzdušnic 110~120 g,

důvodem je větší množství gumy – tvar vzdušnic je kulatější, než u ostatních skupin a mají nižší propustnost. Dále pak hmotnost míče ovlivňuje návin s latexem. Upravováním množství návinu, lze ovlivnit hmotnost hotového míče.

Teoretickou možností, je pak regulace hmotnosti množstvím lepidla, nanášeného na míč. Existuje však minimální hranice, pod kterou množství lepidla nesmí klesnout, aby byla zajištěna funkce pojiva. Poslední možností, je snížení množství latexu při navinování vlákna (v ideálním případě, je latex z výroby zcela odstraněn - viz dříve).

Rázová síla: rázová síla se měří na testovacím přístroji, skládajícího se z podložky Kistler plate (obr. 4.1), nosné tyče a horního ramene. Míč je pomocí podtlaku uložen v držáku horního ramene ve výšce jednoho metru. Po zahájení testu je míč puštěn vlastní vahou na podložku přístroje, který automaticky vyhodnotí sílu rázu. U hotových míčů by se měla rázová síla pohybovat v rozsahu 340~360 N.



Obr. 4.1 Náčrtek přístroje měření rázové síly.

Výška odskoku: na obdobném principu, jako je měření rázové síly, je založeno i testování výšky odskoku. Z výšky jednoho metru, je míč puštěn na desku Kistler Force Plate a přístroj automaticky vyhodnotí výšku odskoku míče od podložky. Hodnota odskoku se pohybuje v intervalu 63,0~66,0 cm.

Oba tyto parametry (rázová síla a odskok) mají stanovené rozpětí. Při naměření vyšších hodnot, než jsou tyto hranice, by míč neprošel schválením. Z hlediska komfortu při hře a závislosti hodnot odskoku a rázu, je však žádoucí dosáhnout co nejnižší rázové

síly a co nejvyššího odskoku v rozmezí předepsaných parametrů.

Vztah rázové síly a odskoku, lze charakterizovat nepřímou úměrou. Po navinutí vlákna je rázová síla nejnižší a nejvyšší odskok. Přidáním lepidla a vrchového materiálu však odskok postupně klesá a rázová síla se zvyšuje. Stejně tak latex, kterým vlákna procházejí před navíjením na vzdušnici z důvodu zabránění nežádoucího sklouzávání, má vliv na zvyšování této síly. Předpokladem tedy je, že pokud by bylo možné odstranit z procesu navíjení vlákna latex, snížila by se tím výsledná rázová síla.

4.2 DEFINICE NÁROKŮ NA VLÁKNO

Vlákno tvoří pevnostní kostru míče a podstatně ovlivňuje herní vlastnosti, jako je např. odskok a rázová síla. Návin musí vždy udržet kulatý tvar. Pokud by bylo na vzdušnici nanášeno pouze lepidlo, při nárazu by praskla – jednou z funkcí vlákna je tedy i ochrana vzdušnice před poškozením a deformací tvaru. Na všechny kvalitativní skupiny míče, se používá stejný typ vlákna.

Požadavky na nové vlákno, lze shrnout v následujících bodech:

- vlákno musí být dostatečně pružné, aby byla rázová síla co nejnižší a odskok v předepsaných parametrech
- průměr a tvar průřezu vlákna nesmí ovlivnit konečný vzhled míče – nesmí se protlačovat na povrch
- vlákno musí mít co nejmenší schopnost přijímání lepidla, při operaci namáčení polotovaru v lepidle
- vlákno může být z libovolného materiálu – splňující výše uvedené podmínky

4.2.1 Vlastnosti vlákna ovlivňující herní vlastnosti míče

K vlastnostem, které rozhodujícím způsobem ovlivňují požadované herní vlastnosti míče, patří především nasákavost, pevnost a pružnost vlákna.

Nasákavost: nejvýznamněji tedy ovlivňuje herní vlastnosti míče nasákavost vlákna. Vliv nasákavosti na vlastnosti míče vyplývá již z předcházejícího textu a ovlivňuje

především rázovou sílu a odraz míče. Obecně lze říci, že čím více vlákno při výrobě prosákne (latexem, lepidlem), tím vyšší je rázová síla. Vliv na procento navlhavosti má také počet filamentů, z nichž se výsledné vlákno - multifil skládá. Čím více filamentů v multifilu je, tím je výsledná navlhavost vlákna vyšší.

Literatura [6] definuje nasákavost a měření hodnot tohoto parametru následovně: Nasákavost je schopnost vlákna přijímat a fyzikálně vázat tekutinu, při ponoření za stanovené teploty a doby.

Princip měření hodnot tohoto parametru, spočívá v ponoření zvážených klimatizovaných vzorků do destilované vody stanovené teploty. Po uplynutí 2 hodin se vzorky vyjmou, přebytečná voda se nechá okapat a vzorky se opět zváží. S rozdílu obou hodnot se dle rovnice (4.1) vypočítá nasákavost materiálu. Výsledná hodnota je vyjádřena procenty. Jednotlivé výsledky vzorků se zpracují statistickými metodami. [6]

$$N = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100 \quad (4.1)$$

kde: N - nasákavost vzorku [%]

m_0 - hmotnost klimatizovaného vzorku [g]

m_1 - hmotnost mokrého vzorku po okapání [g]

Pružnost: další vlastností, mající vliv na rázovou sílu, je pružnost vlákna. Vláknem musí mít dostatečnou pružnost, aby byla rázová síla co nejnižší. Pružnost (též elasticita), je schopnost vlákna zvětšit vlivem vnějších sil svůj délkový rozměr. Hodnoty pružnosti, lze získat při zkoušení na trhačím stroji, kde je pružnost popisována pomocí Hookova zákona (vztah (4.2)). Při natahování vzorku na trhačím přístroji dochází k jeho prodloužení – deformaci. Deformace může být vratná (elastická) označuje se jako pružnost vlákna, nebo nevratná (plastická).

Hookův zákon popisuje pružnou deformaci materiálu působením síly, za předpokladu malých sil a malých deformací, které po odlehčení zmizí. Lze jej formulovat např. ve tvaru: deformace je úměrná napětí materiálu. [7]

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (4.2)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu (Youngův modul pružnosti) [Pa]

ε - poměrné prodloužení [1] - výpočet prodloužení viz rovnice (4.3)

σ - napětí [Pa] - výpočet napětí viz rovnice (4.4)

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (4.3)$$

kde: Δl - absolutní deformace [mm]

l_0 - původní (upínací) délka [mm]

l - délka vzorku po natažení [mm]

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (4.4)$$

kde: F - síla [N]

S - plocha [m²]

Pevnost: s pružností souvisí také další parametr, kterým je pevnost vlákna. Literatura [8] definuje pevnost, jako maximální tahovou sílu zjištěnou v průběhu zkoušení textilií tahem, do přetržení materiálu. Hodnoty tohoto parametru lze získat současně s hodnotami tažnosti vlákna na trhacím stroji (dynamometru). Tažnost vlákna je pak definována jako prodloužení vlákna při dosažení maximální tahové síly, vyjádřené jako procento upínací délky.

Při zkouškách na dynamometru může být namáhání realizováno dvěma způsoby a to jednorázově, nebo opakovaně. Oba způsoby namáhání zjišťují jak pevnost a tažnost, tak i deformace (resp. jejich typy), při různých zatěžovacích režimech. [7], [9]

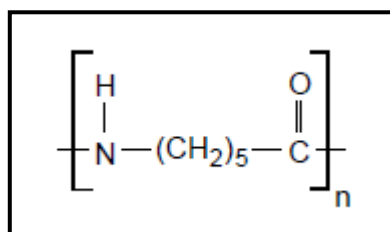
5. PRŮZKUM VLÁKENNÝCH ALTERNATIV

5.1 POLYAMIDOVÁ VLÁKNA

Polyamidová vlákna jsou syntetická vlákna z lineárních makromolekul, v jejichž řetězcích se opakují funkční amidové skupiny. Jsou označovány zkratkou PA. Existuje řada typů polyamidových vláken, z nichž nejrozšířenější jsou vlákna PA 6 a PA 6.6, která se od sebe liší molekulovou strukturou i některými vlastnostmi. Číselné označení v názvu polyamidu, udává počet atomů uhlíku v molekule. Oba typy polyamidů se vyrábějí zvlákňováním z taveniny do šachty a následným dloužením získávají konečné (zejména mechanické) vlastnosti. Modifikací výroby, lze dosáhnout výroby vláken s rozdílnými vlastnostmi i v rámci jednotlivých typů. Jedná se především o různé profily průřezu vláken, jemnosti vláken, množství filamentů v multifilu, spojení filamentů v multifilu, tvarování vláken atd. [10]

Polyamid 6 (PA 6)

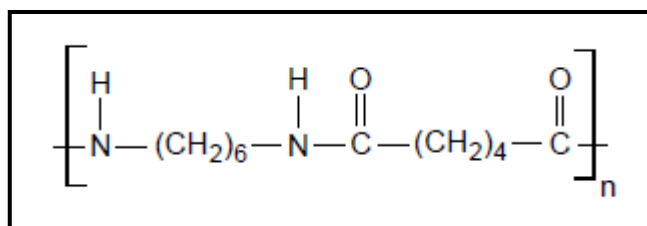
PA 6 vzniká polymerizací ϵ - kaprolaktamu. V České republice se PA 6 vyráběl pod obchodní značkou „Silon“. Stavbě vláken odpovídá strukturní vzorec na obrázku 5.1.



Obr. 5.1 Strukturní jednotka PA6[11].

Polyamid 6.6 (PA 6.6)

Polyamid 6.6 (obr. 5.2) vzniká polykondenzací hexametyléndiaminu a kyseliny adipové. Vyrábí se pod obchodním názvem „Nylon“. Má vyšší tepelnou odolnost a trvanlivost než PA 6.



Obr. 5.2 Strukturní jednotka PA 6.6 [11].

Polyamidová vlákna se ve formě stříže používají jako tepelně izolační výplně oděvních výrobků a příkrývek, do směsových přízí pletených výrobků a tkanin (např. s bavlnou). Ve formě monofilu se zpracovávají jako monofilní šicí nitě. Hladký nebo tvarovaný multifil se používá na punčochové zboží, plavky a sportovní oblečení.

Vlastnosti polyamidových vláken [10, 12]:

- dobré mechanické vlastnosti (odolnost vůči opakovanému namáhání)
- vysoká pružnost
- nižší dopružování, než u polyesteru
- relativně nízká navlhavost (cca 3,5% při 65% vlhkosti vzduchu a 20°C)
- termoplasticita
- nejvyšší odolnost v oděru
- malá bobtnavost
- nízká měrná hmotnost
- modul pružnosti, který je závislý na stupni dloužení
- malá odolnost vůči zvýšeným teplotám
- malá odolnost vůči slunečnímu záření
- náchylnost ke vzniku elektrostatického náboje
- stálost vůči chemickým činidlům (alkáliím)
- číselné vyjádření vybraných vlastností polyamidových vláken viz tabulka 5.1.

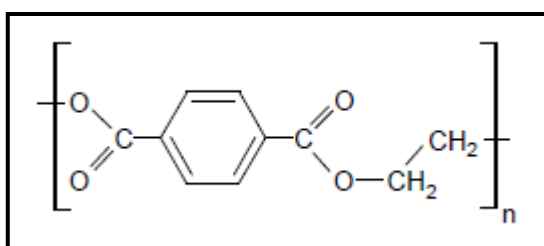
Tab. 5.1 Přehled vlastností vláken PA 6 a PA 6.6 [10, 11].

PARAMETR	P A6	PA 6.6
Pevnost [cN/dtex]	3,6 - 6,8	3,6 - 6,3
Tažnost [%]	23 - 55	18 - 25
Nasákavost [%]	4,5	3,8
Teplota zesklnění Tg [°C]	40 - 60	45 - 65
Teplota tání Tm [°C]	220	256
Obchodní názvy polyamidů	TACTEL (SRN)	

Speciální skupinou polyamidových vláken jsou vlákna aramidová. Jedná se o aromatické polyamidy s cyklickým jádrem v řetězci. Jejich charakteristickou vlastností je vyšší pevnost a odolnost za tepla. Jejich obchodními názvy jsou KEVLAR, NOMEX (USA) a TWARON (HOL). [10, 12]

5.2 POLYESTER (PES)

Polyesterová vlákna jsou tvořena lineárními makromolekulami obsahujícími v hlavním řetězci esterovou skupinu. Vyrábí se polykondenzací dvou vstupních komponent (kyseliny tereftalové a etylénglykolu). Vzniklý polykondenzát se zvlákňuje z taveniny do šachty a následně dlouží, popř. sdružuje do kabelu. Vznikají různě jemná, profilovaná vlákna. U vláken s nekruhovým průřezem (např. trojúhelníkovým) se dosahuje podobného omaku a lesku jako u přírodního hedvábí. Příklad strukturní jednotky PES vlákna je uveden na obr. 5.3.



Obr. 5.3 Strukturní vzorec PES vlákna – polyetyléntereftalát [11].

Polyesterová vlákna se mohou vyskytovat prakticky ve všech textilních výrobcích. Ve srovnání s PA vlákny jsou relativně tužší a snižují tak mačkavost výrobku. Mísením s přírodními vlákny, se dosahuje zlepšení užitečných vlastností, které jsou pevnější a trvanlivější. Nejčastěji se používají ve směsích s bavlnou a vlnou, do mykaných a česaných přízí. [10, 12]

Vlastnosti polyesterových vláken [10, 12]:

- dobré mechanické vlastnosti
- vysoká odolnost na světle, povětrnostním vlivům a mikroorganizmům
- odolnost vůči oděru
- termoplasticita
- dobrá termická odolnost (200°C)
- tvarová stabilita
- žmolkovitost
- nízká navlhavost/sorpce
- vznik elektrostatického náboje
- číselné vyjádření vybraných vlastností polyesterových vláken viz tabulka 5.2.

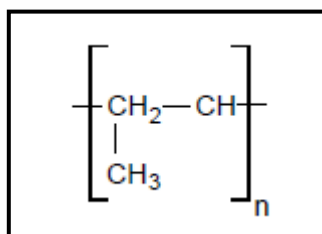
Tab. 5.2 Přehled vlastností PES vláken [10, 11].

PARAMETR	PES
Pevnost [cN/dtex]	4,1 - 5,4
Tažnost [%]	50 - 70
Nasákavost [%]	0,3 - 0,4
Teplota zesklnění T _g [°C]	77 - 80
Teplota tání T _m [°C]	258
Obchodní názvy polyesterů	SLOTERA (SR), DACRON (USA)

5.3 POLYPROPYLEN (PP)

Vlákno se vyrábí koordinální stereospecifickou polymerací propylénu za přítomnosti katalyzátorů. Předem připravený polymer se zvlákňuje z taveniny do šachty, nebo vodní lázně. Výsledná vlákna jsou většinou kruhového průřezu. Strukturní vzorec polypropylenového vlákna je na obrázku 5.4.

Polypropylénová vlákna se nejčastěji používají ve směsi a to především pro technické účely, obalovou techniku, pro sportovní potřeby a v medicíně. Mají vysoké uplatnění v oblasti netkaných textilií. V oděvní výrobě se používají pro výrobu pletených sportovních oděvů (termoprádla), dětského prádla a ponožek. [10, 12]



Obr. 5.4 Strukturní vzorec polypropylénu (PP) [11].

Vlastnosti polypropylénových vláken [10, 12]:

- dobrá pevnost v oděru
- trvanlivost
- nízká tvorba elektrostatického náboje
- velmi nízká sorpce
- velmi nízká měrná hmotnost (0,91 kg/m³)
- odolnost vůči chemikáliím
- nízké teploty měknutí a tání

- nízká schopnost zotavení po deformaci
- nízká odolnost vůči účinkům světla
- číselné vyjádření vybraných vlastností polypropylénových vláken viz tabulka 5.3.

Tab. 5.3 Přehled vlastností PP vláken [10, 11].

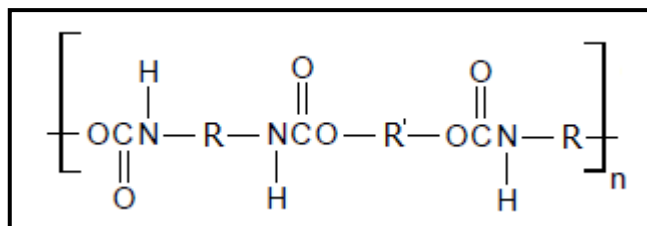
PARAMETR	PP
Pevnost [cN/dtex]	3,2 - 7,2
Tažnost [%]	15 - 50
Nasákavost [%]	0,05
Teplota zesklenní Tg [°C]	-(10 – 0)
Teplota tání Tm [°C]	165
Obchodní názvy polypropylenů	MOSTEN (ČR), MERAKLON (It), PROPYLEX (Anglie)

5.4 POLYURETAN (EL) – LYCRA

Polyuretanová vlákna se obecně nazývají elastomery. Jsou vyráběna dvěma způsoby: jako klasické polyuretanové vlákno a jako vlákna kopolymerní (segmentovaná). Polyuretanová kopolymerní vlákna jsou tvořena segmenty makromolekul polyuretanu a dalšího druhu polymeru. Zvlákňování se provádí z roztoku do horkovzdušné komory, nebo lázně a výsledná vlákna bývají téměř kruhového průřezu. Nejvýznamnější vlastností polyuretanových vláken je jejich vysoká pružnost, umožňující použití do všech druhů pružných výrobků a elastického prádla. Nejznámější typem segmentovaného polyuretanu je Lycra. [13]

Lycra

Je vysoce pružné polyuretanové vlákno skládající se z tenkých filamentů tvořících svazek. Vlákno je možné natáhnout na několiknásobek jeho délky, po uvolnění napětí se vlákno vrací do původního tvaru. Vlákno se směšuje do úpletů nebo tkanin s jinými přírodními nebo syntetickými vlákny (bavlna, vlna, hedvábí, nylon...), přičemž výsledná úroveň elasticity je závislá na procentu zastoupení Lycry ve směsi. Používá se především k výrobě plavek, sportovního oblečení, punčochového a spodního prádla. Strukturní vzorec polyuretanového vlákna je obr. 5.5. [13]



Obr. 5.5 Strukturní vzorec polyuretanu (EL) [11].

Vlastnosti polyuretanových vláken [10]:

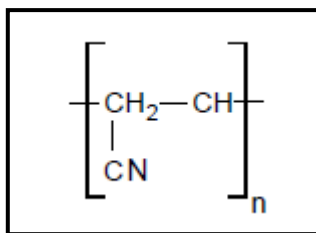
- vysoká pružnost (400 %)
- po delší době v chlоровané vodě ztrácí pružnosti
- číselné vyjádření vybraných vlastností polyuretanových vláken viz tabulka 5.4.

Tab. 5.4 Přehled vlastností EL vláken [10, 11].

PARAMETR	EL
Pevnost [cN/dtex]	0,5 - 1,2
Tažnost [%]	400 - 700
Nasákavost [%]	> 2%
Teplota zesklnění Tg [°C]	-
Teplota tání Tm [°C]	-
Obchodní názvy polyuretanu	LYCRA, SPANDEX (USA), DORLASTAN (SRN)

5.5 POLYAKRYLONITRIL (PAN)

Polyakrylonitrilová vlákna se vyrábějí polymerací akrylonitrilu a následně zvlákňují. Zvlákňování může být realizováno buď za mokra do lázně, nebo za sucha do horkovzdušné komory. Polyakrylonitrilová vlákna se vyrábějí dvojího typu. Jedná se o tzv. „pravá“ PAN vlákna (jsou tvořena z > 85 % PAN), nebo vlákna modakrylová (obsahují < 85 % PAN, zbytek tvoří nositelé barvitelné složky - samotný polyakrylonitril má špatnou barvitelnost). Svými vlastnostmi se PAN vlákna velmi přibližují vlně, proto se nejčastěji používají ve směsi vlna/akryl na pletené přize a pletené výrobky, časté je také využití na bytové textilie. Vyznačuje se vysokou špinivostí v důsledku snadného vzniku elektrostatického náboje. Strukturní vzorec polyakrylonitrilu je na obr. 5.6. [13]



Obr. 5.6 Strukturní vzorec polyakrylonitrilu (PAN) [11].

Vlastnosti polyakrylonitrilových vláken [10, 13]:

- mechanické vlastnosti téměř shodné s vlnou
- termoizolační vlastnosti
- snadno se žmolkuje
- nízká sorpce – vznik elektrostatického náboje – snadná špinivost
- nízká cena
- číselné vyjádření vybraných vlastností polyakrylonitrilových vláken viz tabulka 5.5

Tab. 5.5 Přehled vlastností PAN vláken [10, 11].

PARAMETR	PAN
Pevnost [cN/dtex]	1,3 - 3,2
Tažnost [%]	20 - 30
Nasákavost [%]	0,9 - 2
Teplota zesklnění Tg [°C]	60
Teplota tání Tm [°C]	235
Obchodní názvy polyakrylonitrilu	ACRIBEL (Belgie), ORLON, DRALON (USA), DOLAN (SRN)

Uvedená vlákna byla vybrána s ohledem na jejich užité vlastnosti, zejména pevnost a pružnost. Dalším kritériem výběru byla cenová hladina materiálů. Proto byla do průzkumu vláknenných alternativ vybrána vlákna, která se obvykle dodávají.

6. EXPERIMENTÁLNÍ DATA – STATISTICKÁ ANALÝZA

„Experimentálními daty jsou nazývány výsledky (hodnoty) jednotlivých měření vlastností. Tyto výsledky jsou zatíženy náhodnými chybami, a proto se zpracovávají statistickými metodami výpočtů.“ [7, str. 26] Za předpokladu vyloučení chyb měřících přístrojů a chyb způsobených lidským faktorem, jsou experimentální data zatížená náhodnými chybami. Naměřenou hodnotu pak lze vyjádřit vztahem (6.1).

$$x_i = \mu \pm \varepsilon_i \quad (6.1)$$

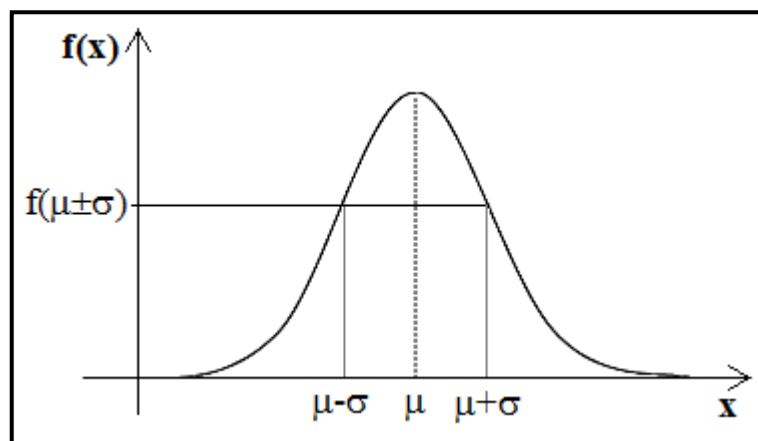
kde: x_i - hodnota i-tého měření ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

μ - předepsaná „správná“ hodnota

ε_i - chyba v i-tém měření

Soubory naměřených hodnot jednotlivých zkoušek, představují náhodné veličiny. Nabývá-li měřený parametr libovolných hodnot, označuje se tato veličina jako **spojitě náhodně proměnná veličina** (např. měření pevnosti). Nabývají-li hodnoty měřené veličiny celých čísel, je veličina označována jako **diskrétní náhodně proměnná** (např. počet vad). Při statistickém zpracování hodnot měření, se předpokládá určité rozdělení pravděpodobnosti.

Pro popis náhodných chyb, při měření fyzikálních a technických veličin se nejčastěji využívá spojitého **normálního rozdělení** $N(\mu, \sigma^2)$, popř. **Gaussovo rozdělení**. Grafickým vyjádřením hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení je zvonovitá tzv. Gaussova křivka, jejíž tvar je ovlivněn parametry μ (střední hodnota) a σ^2 (rozptyl). Graf hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení je na obr. 6.1. [14]



Obr. 6.1 Hustota pravděpodobnosti normálního rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ [15].

- hustotu pravděpodobnosti $f(x)$ normálního rozdělení definuje vztah (6.2).

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad x \in (-\infty, \infty), \sigma > 0 \quad (6.2)$$

kde: σ - směrodatná odchylka

μ - střední hodnota

- distribuční funkce $F(x)$ náhodné veličiny se pak řídí vztahem (6.3).

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (6.3)$$

Hustota $f(x)$ je jednovrcholová a symetrická kolem střední hodnoty μ , proto platí $(\mu+x) = (\mu-x)$ pro každé x a rovnost střední hodnoty s modem a mediánem ($\mu = \tilde{x} = \hat{x}$). Hodnota rozptylu udává rozptýlení hodnot kolem střední hodnoty. Pro každé normální rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ platí, že do intervalu:

- $(\mu \pm \sigma)$ spadá 68,3% hodnot

- $(\mu \pm 2\sigma)$ spadá 95.5% hodnot

- $(\mu \pm 3\sigma)$ spadá 99,7% hodnot

Speciálním případem normálního rozdělení je **standardizované (normované) normální** rozdělení $N(0,1)$. Jeho střední hodnota $\mu = 0$ a rozptyl $\sigma^2 = 1$. [14]

6.1 TEORIE ODHADU

Chování náhodných veličin, lze popsat charakteristikami polohy a rozptýlení – tedy **bodovými odhady a odhady rozptýlení**. Tyto odhady jsou prováděny jedinou hodnotou. Je-li odhad prováděn intervalem, v němž se odhadovaná hodnota nachází s jistou spolehlivostí, jedná se o tzv. **intervalový odhad**.

Střední hodnota – aritmetický průměr

Střední hodnota náhodné veličiny X , se označuje $E(X)$ a je odhadována váženým aritmetickým průměrem $\bar{x}$. Její použití je vhodné tam, kde se příliš nevyskytují odlehlé

hodnoty, které by střední hodnotu výrazně ovlivnily. Jedná se o **charakteristiku polohy**. Pro výpočet střední hodnoty platí vztah (6.4).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6.4)$$

kde: $\bar{x}$ - střední hodnota, aritmetický průměr

n - počet prvků

Σ - suma, součet

x_i – hodnota i-tého prvku

Modus

Modem je označena ta hodnota, která se v souboru dat vyskytuje nejčastěji. Modus se značí $\hat{x}$ a jedná se o **charakteristiku polohy**.

Medián

Medián je stejně jako střední hodnota a modus **charakteristikou polohy**. Určuje se z řady dle velikosti uspořádaných hodnot a rozděluje tuto řadu na dvě stejně početné poloviny. Medián se označuje $\tilde{x}$ a je možné jej také označovat jako 50% kvantil. Platí, že nejméně 50 % hodnot je menších, nebo rovných a nejméně 50 % hodnot je větších nebo rovných mediánu. Pro nalezení mediánu se hodnoty seřadí dle velikosti a hodnota ležící uprostřed seznamu je medián - vztah (6.5). U souboru se sudým počtem prvků se za medián označuje aritmetický průměr hodnot na místech $n/2$ a $n/2+1$ - vztah (6.6).

$$\tilde{x} = x_{(n+1)/2} \quad (6.5)$$

$$\tilde{x} = \frac{x_{n/2} + x_{(n+2)/2}}{2} \quad (6.6)$$

kde: $\tilde{x}$ - medián

n - počet prvků

$x_{(n+1)/2}$ – pozice hodnoty v uspořádané řadě

Rozptyl

Rozptyl (též střední kvadratická odchylka) je **charakteristika rozptýlení** hodnot náhodné veličiny okolo její střední hodnoty. Rozptyl má jiný rozměr než původní data,

protože se počítá pomocí čtverců odchylek dat od střední hodnoty, vydělený počtem stupňů volnosti ($n-1$). Pro výpočet rozptylu platí vztah (6.7). Označuje se $D(X)$, $S^2(X)$, nebo $\text{var}(X)$.

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6.7)$$

kde: S^2 - rozptyl

n - počet prvků

$\bar{x}$ - aritmetický průměr

x_i - hodnota i -tého prvku

Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka se obvykle definuje jako odmocnina z rozptylu náhodné veličiny X a jedná se také o **charakteristika rozptýlení** hodnot kolem aritmetického průměru – vztah (6.8). Na rozdíl od rozptylu má stejný rozměr, jako původní měřená veličina. Je-li směrodatná odchylka malá, jsou si prvky souboru navzájem podobné. Naopak velká směrodatná odchylka značí velké vzájemné odlišnost.

$$S = \sqrt{S^2} \quad (6.8)$$

kde: S – směrodatná odchylka

S^2 – rozptyl

Variační koeficient

Variační koeficient v , posuzuje relativní velikosti rozptýlenosti dat vzhledem k průměru (střední hodnotě). Je definován jako podíl směrodatné odchylky a střední hodnoty. Tato hodnota je nejčastěji vyjádřena v procentech – vztah (6.9).

$$v = \frac{S}{|\bar{x}|} * 100 \quad (6.9)$$

kde: v – variační koeficient

S – směrodatná odchylka

$|\bar{x}|$ – absolutní hodnota průměru

Rozpětí

Hodnota rozpětí je citlivá k odlehlým měřením, značí se R a využívá se pro znázornění v krabicovém grafu - vztah (6.10).

$$R = x_{max.} - x_{min.} \quad (6.10)$$

Korelační koeficient

Korelační koeficienty definují míru vzájemné závislosti dvou a více proměnných. Pro stanovení vztahu dvou proměnných, které mají náhodný charakter lze dle vztahu (6.11) použít **Pearsonův korelační koeficient** $r \in (-1, 1)$. Výsledná závislost je značně ovlivněna odlehlými hodnotami. Pro hodnoty koeficientu platí:

- jestliže $|r| = 1$ leží všechny body na jedné přímce
- jestliže $r = 0$, jsou veličiny vzájemně nekorelované
- $r \sim 0,1 - 0,3$ nízká závislost; $r \sim 0,3 - 0,7$ střední závislost; $r \sim 0,7 - 1$ vysoká závislost

$$r = \frac{C_{x,y}}{S_x * S_y} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{S_x * S_y} \quad (6.11)$$

kde: r - Pearsonův korelační koeficient

$C_{x,y}$ - kovariance (střední hodnota součinu odchylek zkoumaných náhodných veličin X, Y od jejich střední hodnoty)

[14]

Ke stanovení přesnosti **bodového odhadu** parametru x , je možné zjistit interval, v jakém bude hodnota parametru s určitou pravděpodobností ležet. Tyto intervaly spolehlivosti se zjišťují tzv. **intervalovými odhady**. Parametr pak nebude odhadován jedinou hodnotou, ale dvěma číselnými hodnotami, které tvoří meze intervalů spolehlivosti. Meze intervalů se označují L_D pro dolní hranici a L_H pro horní hranici intervalů.

Interval spolehlivosti

Interval (L_D, L_H) nazýváme $100(1-\alpha)$ procentní interval spolehlivosti, kde číslo $(1-\alpha)$ vyjadřuje pravděpodobnost, s jakou interval (L_D, L_H) pokryje správnou hodnotu odhadovaného parametru x . Pro hodnotu α se nejčastěji používají hladiny spolehlivosti

90 %, 95 %, 99 % a 99,5 %. Hodnoty L_D a L_H představují náhodné veličiny, které se mění výběr od výběru. V případě, že hodnota L_D resp. L_H je rovna $-\infty$ nebo $+\infty$, jedná se o tzv. jednostranný interval. Intervalové odhady jsou prováděny pro konkrétní typ parametru. Za předpokladu, že náhodný výběr byl proveden ze základního souboru s normálním rozdělením pravděpodobnosti s parametry μ a σ^2 , je nutné při konstrukci intervalu rozlišovat případy pro známý, či neznámý druhý parametr:

Interval spolehlivosti pro střední hodnotu μ

- odhad střední hodnoty μ při známém rozptylu σ^2 - případ normovaného normálního rozdělení $N(0,1)$ – vztah (6.12).

$$\mu \in \left(\bar{x} \pm u_{1-\frac{\alpha}{2}} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (6.12)$$

kde: σ - směrodatná odchylka základního souboru

μ - střední hodnota základního souboru

$u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ - kvantil normovaného normálního rozdělení $N(0,1)$

- odhad střední hodnoty μ při neznámém rozptylu σ^2 - náhodná veličina má tzv. Studentovo výběrové rozdělení s $n-1$ stupni volnosti, používá se kvantilů Studentova výběrového rozdělení – vztah (6.13).

$$\mu = \left(\bar{x} \pm t_{1-\frac{\alpha}{2}(n-1)} \frac{S}{\sqrt{n}} \right) \quad (6.13)$$

kde: S - je bodový odhad parametru σ

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}$ - je kvantil t-rozdělení

Interval spolehlivosti pro rozptyl σ^2

- odhad rozptylu σ^2 při známé střední hodnotě μ - používá se kvantilů rozdělení Chí-kvadrát o $n-1$ stupních volnosti – vztah (6.14).

$$\sigma^2 \in \left(\frac{n * S^2}{\chi_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 (n-1)}, \frac{n * S^2}{\chi_{\frac{\alpha}{2}}^2 (n-1)} \right) \quad (6.14)$$

kde: $\chi_{\frac{\alpha}{2}}^2(n-1)$ - je kvantil rozdělení o $(n-1)$ stupních volnosti [7, 14]

6.2 TESTOVÁNÍ STATISTICKÝCH HYPOTÉZ

Statistickým testováním hypotéz se ověřuje, na kolik zjištěné realizace náhodné veličiny odpovídají apriorní představě (hypotéze). Tato hypotéza může určovat rozdělení náhodné veličiny úplně, nebo se může týkat pouze některé výběrové charakteristiky (střední hodnota, rozptyl...). Předpoklad (výrok) jehož platnost se ověřuje, je označen jako nulová hypotéza H_0 . Negace tohoto výroku se nazývá alternativní hypotéza a značí se A nebo H_1 .

Nástrojem pro správné ověření stanovených výroků je tzv. testovací kritérium T . Rozdělení kritéria odpovídá rozdělení při platnosti H_0 a jedná se o realizaci této náhodné veličiny. Po nalezení kritické hodnoty K , která rozděluje obor hodnot náhodné veličiny T na kritický obor W a obor přijetí V , se hodnoty T a K porovnají a dojde k ponechání nebo zamítnutí H_0 . Jestliže je T prvkem množiny W , je testovaná hypotéza H_0 zamítnuta ve prospěch alternativy. Padne-li hodnota testované statistiky do množiny hodnot V , provedený test neprokázal nepravdivost testované hypotézy H_0 . Nezamítnutí hypotézy však neznamená její přijetí. Při testování hypotéz, však může s určitou pravděpodobností dojít k jistým chybám. Pravděpodobnosti výskytu chyb definují vztahy (6.15) a (6.16). Grafické znázornění pravděpodobností chyb je na obr. 6.2.

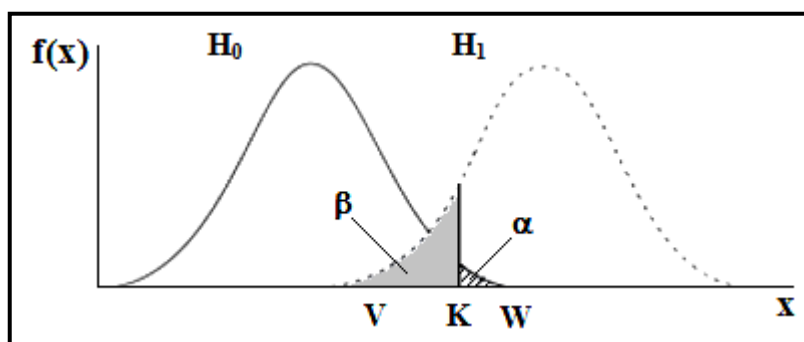
a.) zamítnutí hypotézy, která platí, tzv. **chyba prvního druhu**

$$\alpha = P(T \in W | H_0) \quad (6.15)$$

kde: α - hladina významnosti

b.) přijetí hypotézy, která neplatí, tzv. **chyba druhého druhu**

$$\beta = P(T \in V | H_1) \quad (6.16)$$



Obr. 6.2 Pravděpodobnost chyby 1. a 2. druhu.

Doplňek hodnoty β tzn. $(1-\beta)$ je tedy pravděpodobnost že hodnota T správně padne do kritického oboru W . Pro pravděpodobnost, pak platí vztah (6.17). Tato pravděpodobnost je tzv. síla testu – pravděpodobnost, že test povede k oprávněnému zamítnutí H_0 .

$$1 - \beta = P(T \in W | H_1) \quad (6.17)$$

Test významnosti rozdílu mezi dvěma rozptyly (F-test)

Test pro dva náhodné výběry z rozdělení $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ a $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ o rozsahu n_1 a n_2 a výběrové rozptyly S_1^2 a S_2^2 .

Testuje se hypotéza:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \text{ proti alternativě } H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Testovací kritérium: vztah (6.18) - větší z rozptylů je v čitateli

$$T = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (6.18)$$

Kritická hodnota: $F_{n_1-1, n_2-1}(p)$, se určí z tab. Fisherova rozdělení pro n_1-1 a n_2-1 stupňů volnosti a hladinu významnosti p . Je-li $T >$ kritická hodnota, H_0 se zamítá.

Test významnosti rozdílu mezi dvěma výběrovými průměry (dvouvýběrový t-test)

Test pro dva náhodné výběry o rozsahu n_1 a n_2 z rozdělení $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ a $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ a výběrové průměry $\bar{x}_1$ a $\bar{x}_2$. Rozptyly σ_1^2 a σ_2^2 nejsou známé.

Testuje se hypotéza:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ proti alternativě } H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Testovací kritérium: dle $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ - vztah (6.19), nebo $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ - vztah (6.20)

- **T pro $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$**

$$T = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}} * \sqrt{\frac{n_1 * n_2 * (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (6.19)$$

Kritická hodnota: $t_{n_1 + n_2 - 2}(p)$, se určí z tab. Studentova rozdělení pro $n_1 + n_2 - 2$ stupňů volnosti a hladinu významnosti p . Je-li $|T| >$ testovací kritérium, H_0 se zamítá.

- **T pro $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$**

$$T = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{V_1 + V_2}} \quad (6.20)$$

kde: V_i - odpovídá podílu rozptylů S^2 a n_i-1 stupňů volnosti, pro $i=1,2$

Kritická hodnota K : $t_{n_1-1}(p), t_{n_2-1}(p)$ se určí z tab. Studentova rozdělení pro n_1-1 a n_2-2 stupňů volnosti a hladinu významnosti p . Je-li $|T| > K$, H_0 se zamítá. Kritická hodnota K je definována vztahem (6.21).

$$K = \frac{V_1 * t_{n_1-1}(p) + V_2 * t_{n_2-1}(p)}{V_1 + V_2} \quad (6.21)$$

[15, 16]

6.3 GRAFICKÉ VYJÁDŘENÍ STATISTICKÉ ANALÝZY

Pro přehledné podání informací o výsledcích statistického zpracování, se používá různých typů grafických výstupů. V této práci jsou statistické výstupy vyjádřeny pomocí spojnicových, sloupcových, krabicových grafů a tzv. Q-Q grafů.

Krabicové grafy

Krabicový graf je schéma, které graficky vyjadřuje medián, horní a dolní kvartil, symetrii v okolí kvartilů, maximální a minimální hodnotu a identifikuje odlehlá data ve zkoumaném výběrovém souboru. Základním prvkem grafu je obdélník, jehož hrany tvoří hodnoty horního (F_H) a dolního (F_D) kvartilu. Obdélník je tedy o délce $R_F = F_H - F_D$ a šířce úměrné hodnotě $\sqrt{n}$. Uvnitř tohoto obdélníku je 50 % naměřených hodnot souboru a čarou je vyznačen medián (M), popř. tečkou průměr. Z obdélníku vedou úsečky kolmé k hranám, jejichž délka je dána vzdáleností **vnitřních hradeb B_H a B_D** od hrany obdélníku, pro které platí předpis (6.22). Prvky ležící mimo tyto hradby jsou v grafu znázorněny body a jedná se o odlehlá měření.

$$B_H = F_H + 1,5 R_F, \quad B_D = F_D - 1,5 R_F \quad (6.22)$$

kde: B_H, B_D – intervaly vnitřních hradeb

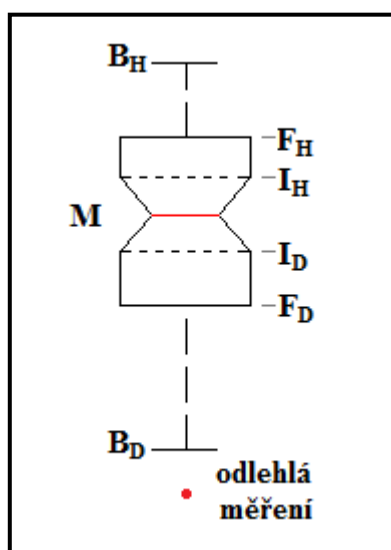
F_H, F_D – horní a dolní kvartil

R_F – mezikvartilové rozpětí

Obdobou krabicového grafu, je tzv. vrubový krabicový graf, který navíc znázorňuje variabilitu mediánu. Variabilita je vyjádřena dolní a horní mezí intervalu spolehlivosti (IS) mediánu, $I_D \leq M \leq I_H$ viz vztah (6.23). Interval spolehlivosti bývá znázorněn v okolí grafu bílým proužkem. Příklad vrubového krabicového grafu, je na obr. 6.3. [17]

$$I_{DH} = M \pm \frac{1,5 R_F}{\sqrt{n}} \quad (6.23)$$

kde: I_{DH} – meze intervalového odhadu mediánu



Obr. 6.3 Ilustrace vrubového krabicového grafu.

Kvantilově-kvantilový (Q-Q) graf

Umožňuje porovnat shodu výběrového rozdělení charakterizovaného kvantilovou funkcí $Q_E(P)$ s kvantilovou funkcí zvoleného teoretického rozdělení $Q_T(P)$ a najít vybočující hodnoty.

Jako odhad kvantilové funkce výběru se využívají pořadové statistiky $x_{(i)}$. Při shodě výběrového rozdělení se zvoleným teoretickým rozdělením platí přibližná rovnost kvantilu $x_{(i)} \approx Q_T(P_i)$, kde P_i je pořádková pravděpodobnost a závislost $x_{(i)}$ na $Q_T(P_i)$ je přibližně přímka. Kritériem těsnosti proložení přímky při hledání rozdělení, je korelační koeficient r_{xy} . [17]

7. EXPERIMENT

Kapitola zahrnuje popis experimentů prováděných na jednotlivých vláknech, včetně přehledu použitého strojního zařízení. Vláknem byla podrobena pět zkoušek mechanických, fyzikálních vlastností a obrazové dokumentaci pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu. Jednotlivé výstupní hodnoty byly zpracovány metodami matematické statistiky, uvedenými v předcházející kapitole. Výsledky experimentů budou sloužit jako podklady pro návrh nejvhodnější alternativy používaného vlákna.

7.1 PRŮBĚH ZKOUŠEK A POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ

„Mechanické vlastnosti vláken, se projevují jako odezva na mechanické namáhání vláken prostřednictvím vnějších sil. Během mechanického namáhání dochází ve vláknech ke změně tvaru – deformaci, která je závislá na velikosti zatížení, rychlosti namáhání a době trvání. Podle působení vnějších sil, lze namáhání rozdělit na namáhání v tahu, tlaku, krutu a ohybu.“ [7] Z mechanického namáhání, se však v této práci vlákna podrobila pouze zkouškám namáhání v tahu.

Zkoušky byly prováděny na trhačím přístroji LABTEST 2.010. Zařízení je obsluhováno pomocí softwarového programu a slouží ke zkoumání mechanických vlastností materiálů. Vláknem je upnuto do čelistí trhačího stroje a pomocí mechanismu, je podrobováno jednoosému namáhání tahovou silou až do přetrhu vzorku.

Vlastní měření zahrnuje výběr typu zkoušky, vytvoření definice, definování základních (vstupních, výstupních) hodnot, průběh vlastního měření a ukládání naměřených dat.

Experimentální část zahrnuje pouze statistické zpracování dat. Hodnoty jednotlivých zkoušek jsou uvedeny na příloze D, přiložené k práci na CD.

Zkoušky mechanického namáhání vláken probíhaly v následujících klimatických podmínkách:

- teplota vzduchu t [°C]: 22
- vlhkost vzduchu ϕ [%]: 55
- tlak p [kPa]: 96,53

Pevnost v tahu

Zkoušky mechanických vlastností, se provádí za účelem zjištění mezí pevnosti vzorků. Namáhané vlákno je při této zkoušce zatěžováno až do destrukce, neboli přetržení vlákna. Výsledkem zkoušky jsou tzv. ultimativní (mezní, okrajové) charakteristiky. Parametry a průběh zkoušky stanovuje norma ČSN EN ISO 2062 Textilie – Nitě na návinech – Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu.

Parametry zkoušky:

- počet zkoušek: 50
- upínací délka [mm]: 500
- rychlost posuvu [mm/min]: 100
- ukončení zkoušky při poklesu síly [% F_{max}]: 90

Výstupy zkoušky:

- maximální dosažená síla F_{max} [N]: síla potřebná k přetržení vzorku
- tažnost při max. síle A_{max} [mm, %]: protažení odpovídající síle při přetrhu
- modul pružnosti E [MPa]
- mezní práce do přetrhu W [J]: energie, kterou je potřeba vynaložit, aby síla v závislosti na deformaci způsobila přetržení vzorku
- celkový čas zkoušky t [sec]
- ultimativní napětí σ (sigma): je určeno vztažením absolutní síly F [N] na plochu průřezu materiálu S [m²], viz rovnice 4.4.

U vláken je však plocha průřezu obtížně stanovitelná, proto se absolutní síla přepočítává dle vztahu (7.1) na jemnost vlákna T [tex]. Výsledná hodnota se označuje také jako **relativní síla** f [N/tex] popř. [cN/dtex]. Přepočet se provádí při porovnávání různých vzorků materiálu mezi sebou.

$$f = \frac{F}{T} \quad (7.1)$$

kde: f - relativní síla [N/tex⁻¹]

F - absolutní pevnost [N]

T - jemnost vlákna [tex]

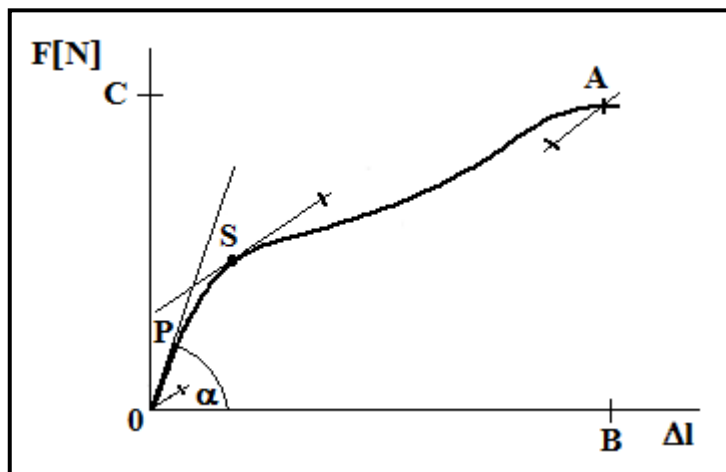
Vyjádříme-li jemnost vlákna z průměru (viz vztah 7.2) a dosadíme do vztahu pro výpočet napětí, bude vztah mezi relativní silou f [N/tex] a σ [Pa] definován rovnicí 7.3.

$$T = \frac{\pi}{4} d^2 * \rho * 10^6 = S * \rho * 10^6 \quad (7.2)$$

$$\sigma = \frac{F}{T/\rho} = f * \rho \rightarrow f = \frac{\sigma}{\rho} \quad (7.3)$$

kde: ρ - hustota [kg/m³]

- posledním výstupem zkoušky na trhačím stroji, je grafické znázornění průběhu závislosti síly [N] na deformaci [mm] (obr. 7.1)



Obr. 7.1 Deformační křivka [7].

Z tvaru křivky (obr. 7.1), lze získat informace o chování zatěžovaného vlákna: oblast od počátku 0 do bodu P odpovídá pružné (elastické) deformaci. Tato deformace se po uvolnění napětí vrátí do původního stavu. Bod P se označuje jako mez pružnosti, nad tímto bodem se začínají projevovat nevratné (plastické) deformace. Bod S určuje počátek kluzu. Po dosažení maximální síly (A) dochází k destrukci vzorku (bod B). [18]

Grafické výstupy jednotlivých zkoušek pevnosti v tahu, byly zpracovány v programu **MATLAB verze 7.6**. Jedná se o programovací jazyk sloužící k práci s maticemi reálných nebo komplexních čísel. Výsledky je možné graficky interpretovat. Práci s daty usnadňuje řada funkcí (např. statistických). [19] Výstupem tohoto programu jsou dva grafy pro každý zkoušený typ vlákna, zobrazující:

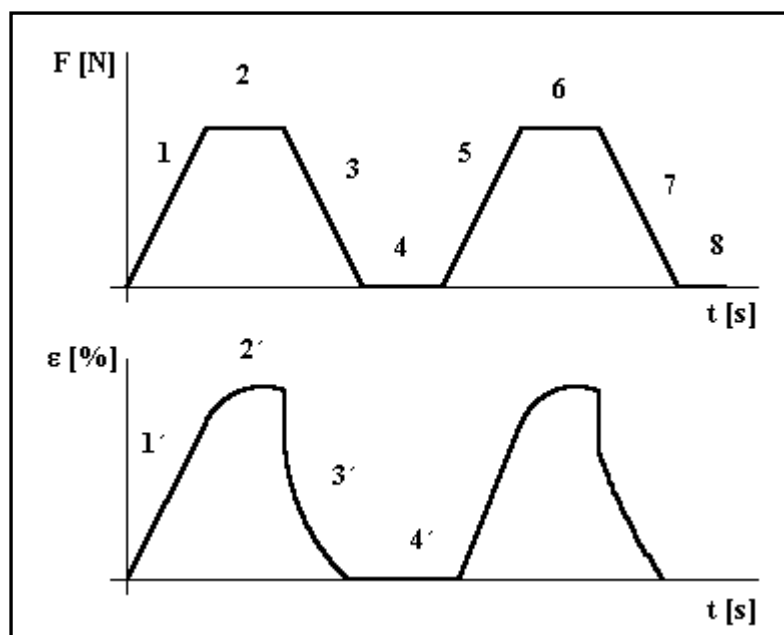
- a.) průměrnou pracovní křivku všech zkoušek, s vyznačením konfidenčních intervalů

- b.) vykreslení tahových křivek všech zkoušek do jednoho grafu, s vyznačením maximální dosažené síly dané zkoušky. Červeně je pak vyznačen průměr pracovních křivek všech měření.

V této práci však budou dokumentovány pouze grafy s průměrnými pracovními křivkami pro jednotlivé typy vláken. Obrázky s křivkami všech měření viz příloha C.

Cyklické namáhání

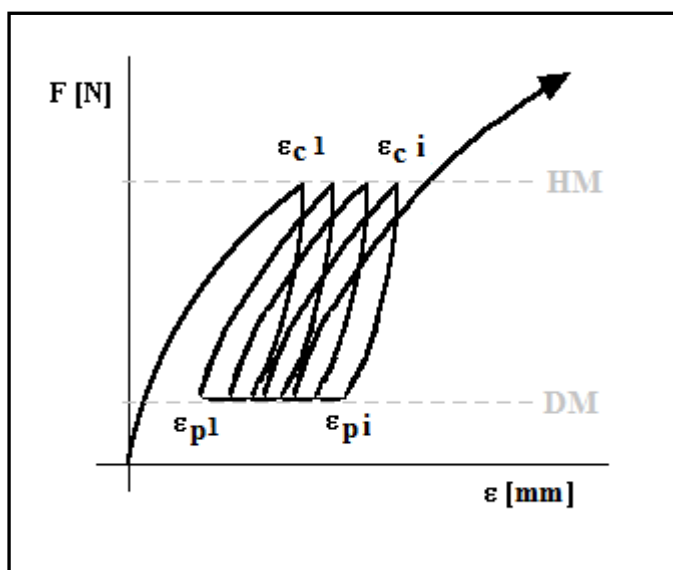
„Cyklické namáhání je definováno jako pravidelný vzrůst a pokles deformace a napětí ve vzorku doplněný prodlevami.“ [7, str. 31]. Vláknem je upnuto do čelistí trhačího stroje a zatěžováno tahovou silou v cyklech. Cyklické namáhání je znázorněno na obr. 7.2, přičemž průběh 1-2-3-4 značí jeden cyklus a průběh 1'-2'-3'-4' odezvu materiálu na namáhání [7]. Dle výše uvedené definice, je 1 cyklus: zatížení – prodleva – odlehčení – prodleva.



Obr. 7.2 Cyklické namáhání vlákna [7].

Jedním z výstupů trhačího stroje, je i grafické vyjádření závislosti síly na deformaci. Jak je znázorněno na obrázku 7.3, cyklické namáhání vlákna je realizováno mezi definovanou horní (HM) a dolní (DM) mezí. Výsledkem rozdílu hodnot na horní

mezi zatěžování prvního (ε_1) a posledního (ε_i) cyklu, je výsledná celková deformace. Na dolní mezi se pak jedná o rozdíl elastických deformací.



Obr. 7.3 Rozbor pracovní křivky cyklického namáhání.

Parametry zkoušky:

- počet zkoušek: 10
- upínací délka [mm]: 500
- počet zátěžových cyklů: 10
- rychlost posuvu [mm/min]: 10, 50, 100
- ukončení zkoušky při poklesu síly [% $F_{\max}$]: 90
- prodleva po dosažení mezních hodnot [s]: 1
- dolní; horní mez cyklů [N]:
 - PA6 67f12: 0,80; 1,50
 - PA6 33f12: 0,60; 1,10
 - PA6 56f17: 0,45; 0,85
 - PA6 67f13: 0,58; 1,08
 - PA6 67f14: 0,26; 0,48

U jednotlivých typů vláken se horní a dolní meze cyklického namáhání liší. Příčinou jsou jejich rozdílné maximální pevnosti. Pro potřeby porovnávání pracovních křivek je důležité, aby proces cyklování probíhal vždy ve stejné části pracovní křivky.

Z toho důvodu byly meze stanoveny procentem z průměrné maximální síly. Dolní mez tedy odpovídá 30 % $F_{\max}$, horní mez 60 % $F_{\max}$.

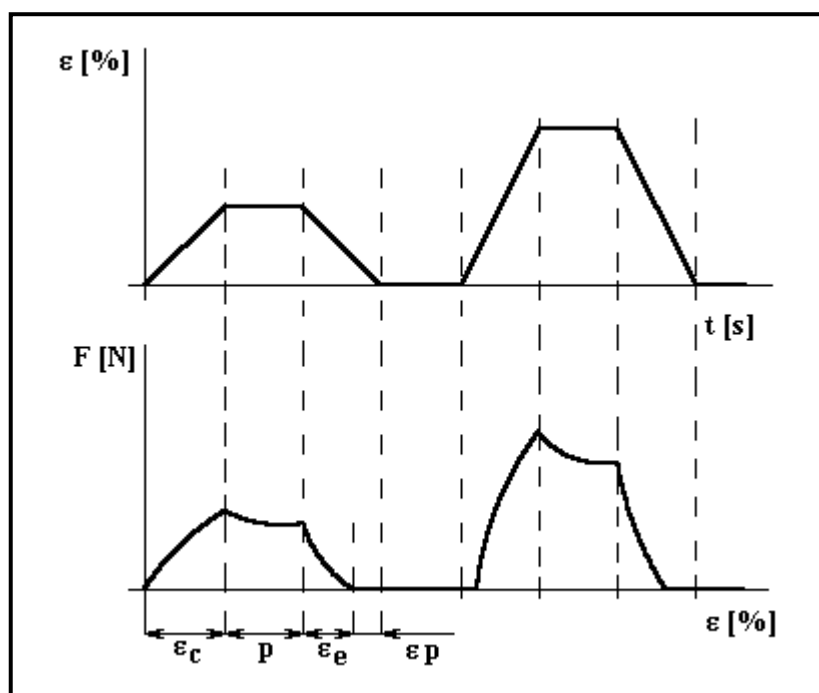
Výstupy zkoušky:

- maximální dosažená síla $F_{\max}$ [N]
- tažnost (deformace) při maximální síle $A_{\max}$ [mm, %]
- grafické znázornění průběhu závislosti síly [N] na deformaci [mm]

Pružnost

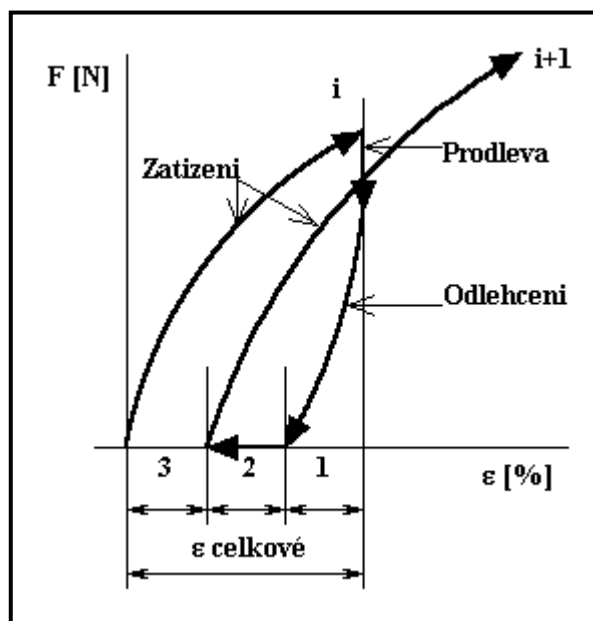
Princip zkoušky pružnosti, spočívá v postupně se zvyšující úrovni zatěžování vlákna a deformaci vzorku, což je patrné z obr. 7.4. Jelikož je deformace ε [%] lineárně závislá na čase, lze překreslit průběh síly do os F [N] - ε [%]. Ve spodní části grafu na obr. 7.4 jsou popsány druhy deformace ε [%] při namáhání vzorku. Celková deformace ε [%] se skládá z deformace elastické ε_e [%], která se celá vrátila a deformace plastické ε_p [%], která se projevuje zůstatkovým protaženým vzorku - platí tedy vztah (7.4). Zkratka **p** označuje prodlevu. [7]

$$\varepsilon_{\text{celková}} = \varepsilon_{\text{elastická}} + \varepsilon_{\text{plastická}} \quad (7.4)$$



Obr. 7.4 Namáhání vzorku při zkoušce pružnosti [8].

V grafickém výstupu z trhačího zařízení, je však ještě znázorněna křivka deformace, která se zotaví při prodlevě s nulovým napětím (silou). Rozbor křivek z trhačího zařízení znázorňuje obrázek 7.5.



Obr. 7.5 Rozbor křivek trhačího zařízení [7].

Křivky na obr. 9.5 odpovídají pohybu horní čelisti trhačího stroje. i -tý stupeň zatěžování začíná v nule. Vzorek je zatěžován do úrovně celkové deformace ε [%]. Poté se čelist začne vracet a deformace i napětí klesá až do bodu 1, kde se křivka dotkne osy ε [%]. Vrátila se elastická – pružná deformace. Čelist se však vrátila do původní polohy na začátku – na vzorku se projevuje prověšení (plastická deformace). Velikost této deformace plastické okamžité ε_{po} [%] je od bodu 1 až k počátku. Nastává prodleva a vzorek se zotavuje. Po zotavení nastává $i+1$ cyklus namáhání. Křivka $i+1$ nezačíná v počátku, ale v bodě 2, který odpovídá místu návratu vzorku po zrušení zbylé plastické deformace (od počátku k bodu 2). Deformaci 1 lze považovat za deformaci elastickou okamžitou ε_{eo} [%], deformaci 2 za deformaci elastickou zotavenou ε_{ez} [%] a deformaci 3 za deformaci plastickou zotavenou ε_{pz} [%]. Celková deformace se tedy skládá z částečných deformací a platí rovnice (7.5).

$$\varepsilon_{celková} = \varepsilon_{elastická\ zotavená} + \varepsilon_{plastická\ zotavená} \quad (7.5)$$

Pro stanovení poměrů deformací během celého zatěžovacího procesu se provádí cyklické namáhání šicí nitě se zvyšující se úrovní napětí a deformace až do jejího

přetrhu. Z jednotlivých deformačních stupňů se vyhodnocuje deformace celková ε_c [%], deformace elastická zotavená ε_{ez} [%] a deformace plastická zotavená ε_{pz} [%].

Z obr. 7.5 vyplývá, že plastická zotavená deformace v **i-tém** stupni zatěžování je rovna vzdálenosti na ose ε [%] od počátku až po začátek dalšího (i+1) stupně. Proto lze elastickou deformaci $\varepsilon_{elast. zot.}$ [%] vypočítat z rozdílu celkové a plastické deformace v i-tém stupni zatěžování - vztah (7.6).

$$\varepsilon_{elastická zotavená} = \varepsilon_{celková} + \varepsilon_{plastická zotavená} \quad (7.6)$$

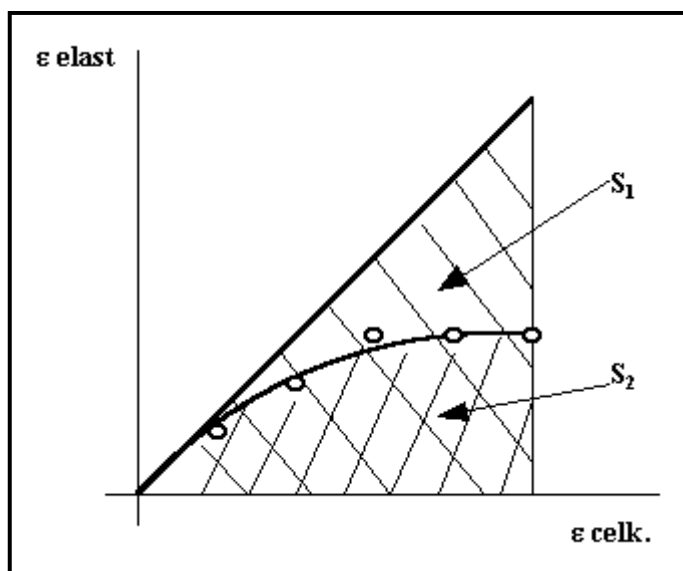
Pružnost vzorku se vyjádří poměrem elastických deformací a přísně elastického tělesa, jehož celková deformace se rovná deformaci elastické tak, že se sestrojí závislost elastických a celkových deformací vlákna a plocha pod křivkou se porovná s plochou pod přímkou elastického tělesa, jak je znázorněno na obr. 7.6. Výsledkem je průměrný stupeň elasticity - rovnice (7.7). [7]

$$\bar{E} = \frac{S_1}{S_2} * 100 \quad (7.7)$$

kde: $\bar{E}$ - stupeň elasticity [%]

S_1 - plocha pod přímkou přísně elastického tělesa [m^2]

S_2 - plocha pod křivkou zkoušeného vzorku [m^2]



Obr. 7.6 Vyjádření stupně elasticity vzorku [8].

Parametry zkoušky:

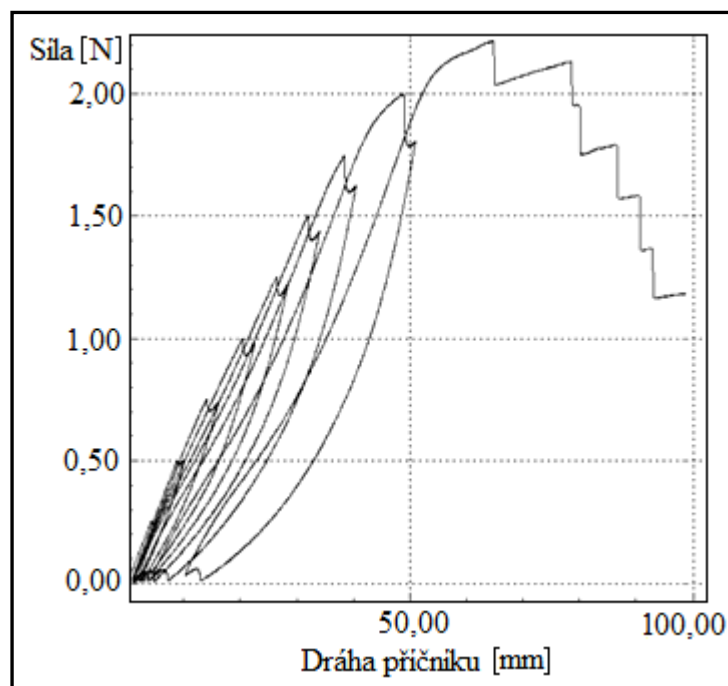
- počet zkoušek: 3
- upínací délka [mm]: 500
- počet zátěžových cyklů: 10
- rychlost posuvu [mm/min]: 100
- ukončení zkoušky při poklesu síly [% $F_{\max}$]: 50
- prodleva po dosažení krajních mezí cyklů [s]: 30
- mezní síla $F_{1\sim 10}$ tažnosti $A_{1\sim 10}$ [N]: dolní mez – přírůstek síly - horní mez
 - **PA6 67f12:** 0,01 - 0,25 - 2,5
 - **PA6 33f12:** 0,01 - 0,08 - 0,8
 - **PA6 56f17:** 0,01 - 0,14 - 1,4
 - **PA6 67f13:** 0,01 - 0,18 - 1,8
 - **PA6 67f14:** 0,01 - 0,19 - 1,9

Meze zatěžování a přírůstek síly, jsou stanoveny % z $\bar{F}_{\max}$, získané při zkouškách pevnosti v tahu jednotlivých vláken. První mez je definována 10 % z $F_{\max}$, při dalším cyklu zatěžování se úroveň napětí zvýší na 20 % $F_{\max}$... Úroveň napětí desátého cyklu je rovna 100 % $\bar{F}_{\max}$. Pokud dojde k přetržení vláken dříve, než po realizaci 10 cyklu zatěžování, budou při zpracování měření vyřazeny hodnoty posledních zátěžových cyklů i u zbylých vláken daného typu.

** Např.: Vláknem PA6 67f12, bylo zatěžováno od počáteční síly 0,01 N deseti cykly s přírůstkem síly 0,25 N do konečné síly 2,5 N. Krok přírůstku síly byl z příkladu 10 % konečné síly. Takto byly odzkoušeny 3 vzorky daného vlákna (3 měření). Při devátém cyklu však došlo k přetrhu vlákna. Při zpracování hodnot stupně elasticity tedy bylo uvažováno pouze osm cyklů zatěžování u všech zkoušek. Ukázka reálné pracovní křivky vlákna 67f12 je na obr. 7.7.*

Výstupy zkoušky:

- tažnost $A_1 \sim A_{10}$ při síle $F_1 \sim F_{10}$ [%]
- grafické znázornění průběhu závislosti síly [N] na deformaci [mm]



Obr. 7.7 Ukázka pracovní křivky vlákna 67f12.

Nasákavost

Jelikož průběh zkoušky nasákavosti vláken není definován normou, byly na zkoušku aplikovány podmínky normy pro savost plošných textilií - ČSN EN ISO 80 0831 Savost plošných textilií - Stanovení nasákavosti. Vlákná se pro simulaci plochy textilie navinula na měděné rámečky. Návinu, byly po dobu 24 hodin vystaveny teplotě 98°C v sušící komoře. Po vážení byly vysušené vzorky ponořeny do destilované vody, po dobu 2 hod. Následující 2 hod po vyjmutí ze vzorků okapávala přebytečná voda. Z rozdílu hmotností vysušených vzorků a vzorků po namočení byla dle vztahu (4.1) stanovena nasákavost vláken. Výsledné hodnoty byly podrobeny statistické analýze.

Klimatické podmínky zkoušky nasákavosti:

- teplota vzduchu t : 23°C
- vlhkost vzduchu φ : 55 %
- tlak p : 96,53 kPa

Parametry zkoušky:

- počet vzorků: 5
- délka vlákna v návínu [m]: 10

DSC – tepelné charakteristiky vlákna

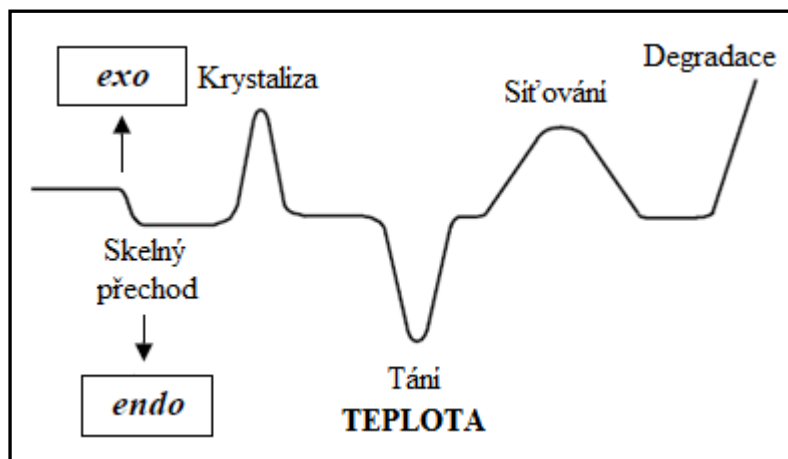
DSC je kalorimetrická diferenční snímací nebo scanovací termická analýza, během které je vzorek podroben lineárnímu ohřevu. Rychlost tepelného toku ve vzorku, která je úměrná okamžitému měrnému teplu, se plynule měří. Uvnitř měrného pláště, udržovaného na pokojové teplotě, jsou uloženy dvě symetrické nádoby na měřený a srovnávací vzorek. Měřený vzorek je během zkoušky ohříván dle definovaných podmínek. Teplota vzorku je udržována izotermní se vzorkem srovnávacím, měřením teplotní difference obou vzorků. Dodáváním tepla srovnávacímu vzorku, se upravuje teplotní difference na nulovou. Toto množství potřebné k udržení izotermních podmínek, se v závislosti na čase nebo teplotě zapisuje. Neměří se tedy diferenční teplota, ale elektrický příkon potřebný k udržení izotermních podmínek. Malé množství měřeného vzorku (v řádech miligramů) uloženého v aluminiové uzavřené misce snižuje tepelný spád. [20]

Parametry zkoušky:

- váha vzorků [mg]: $10 \pm 0,5$
- ohřev a ochlazení, rychlost:
 - 1 min při 25°C izoterma; ohřev z 25°C do 260°C rychlostí 15°C/min; ochlazení na 25°C rychlostí 15°C/min

Výstupy zkoušky:

- hodnota skelného přechodu T_g , teploty tání T_m , krystalizace [°C]
- grafické znázornění příkonu [mW] v závislosti na teplotě [°C] s vyznačením první derivace tepelného toku [mW/min]. Typická křivka DSC je zachycena na obr. 7.8.



Obr. 7.8 Typická křivka DSC [20].

Při měření na KTM na přístroji Perkin Elmer DSC6 byly osy nastaveny obráceně, oproti křivce na obrázku 7.8, tzn. endotermické změny jsou vyneseny v kladném směru.

Obrazová dokumentace

Obrazová dokumentace testovaných vzorků vláken probíhala na přístroji VEGA TS 5130. Jedná se o počítačem řízený rastrovací elektronový mikroskop, určený ke snímání povrchů při velkém zvětšení s velkou hloubkou ostrosti. Výstupní obrazy je možné archivovat ve standardním obrazovém formátu na záznamová média. Mikroskop pracuje s rozlišením 3,5 nm a zvětšením 20 až 500 000. Nosičem vzorků lze v komoře mikroskopu pohybovat ve směrech os x, y, z, rotace 360° a náklon $\pm 90^\circ$. [21]

Vzorky pro podélný a příčný pohled vlákna, jsou po dobu 2 min naprašovány zlatem v naprašovací komoře přístroje SCD 030. V rastrovacím elektronovém mikroskopu jsou vzorky pozorovány ve vakuu (10^{-3} Pa).

Výstupy pozorování:

- podélný a příčný pohled zkoušených vláken při zvětšení 50 a 20 μm . V případě vláken PA6 67f13 bylo navíc použito měřítko 100 a 200 μm (měřítko na obraze)

7.2 PROVEDENÍ EXPERIMENTU

7.2.1 PA6 FDY 67f12 SD RD CPS – stávající výroba

Jedná se o polyamidové dloužené vlákno, složené z 12 filamentů a celkovou jemností 67 dtex. Vlákno má polomatný vzhled a kruhový průřez.

Pevnost v tahu

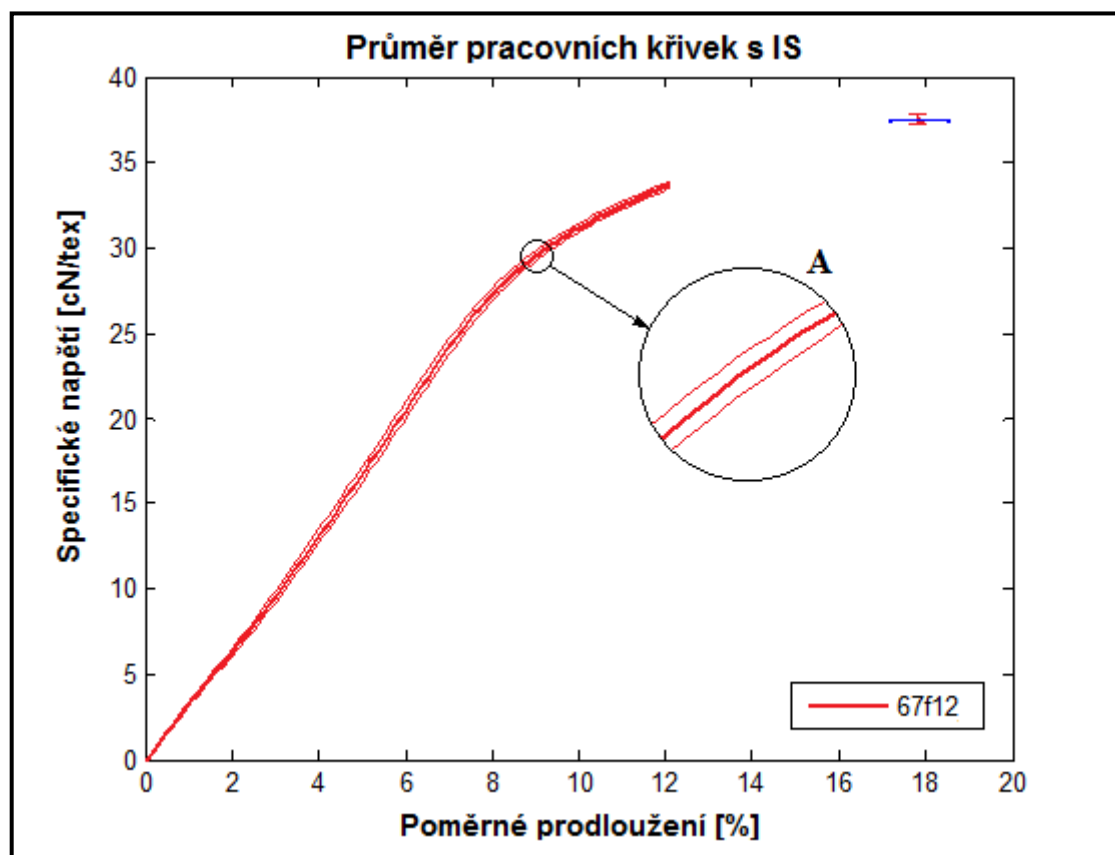
Statistické zpracování hodnot, zjištěných při zkouškách na trhačím stroji, uvádí tabulka 7.1, kde výpočet relativní síly se řídil vztahem (7.1). Pro jednotlivé veličiny

byly stanoveny jejich intervalové odhady s hladinou spolehlivosti $\alpha = 0,05$. Krajní hodnoty intervalu spolehlivosti byly definovány vztahem (6.13).

Tab. 7.1 Statistické zpracování zkoušek pevnosti v tahu PA6 67f12.

STAT	Amax	Amax	Fmax	W	E	f
	[mm]	[%]	[N]	[J]	[MPa]	[N/tex]
Počet zkoušek	50	50	50	50	50	50
Průměrná hodnota	88,15	17,63	2,5	0,21	23,04	0,37
Směrodatná odchylka	12,23	2,45	0,1	0,02	1,76	0,02
Variační koeficient	13,88	13,88	4,03	10,95	7,62	4,03
Minimální hodnota	61,07	12,21	2,15	0,16	18,5	0,32
Maximální hodnota	113,04	22,61	2,64	0,25	27	0,39
Interval spolehlivosti	84,76	16,95	2,47	0,20	22,55	0,37
	91,54	18,31	2,53	0,22	23,53	0,38

Graf na obr. 8.8 zachycuje průměrnou pracovní křivku vlákna PA6 67f12 s konfidenčními intervaly. Zvětšení A na obr. 7.9 ukazuje detail rozpětí intervalu.



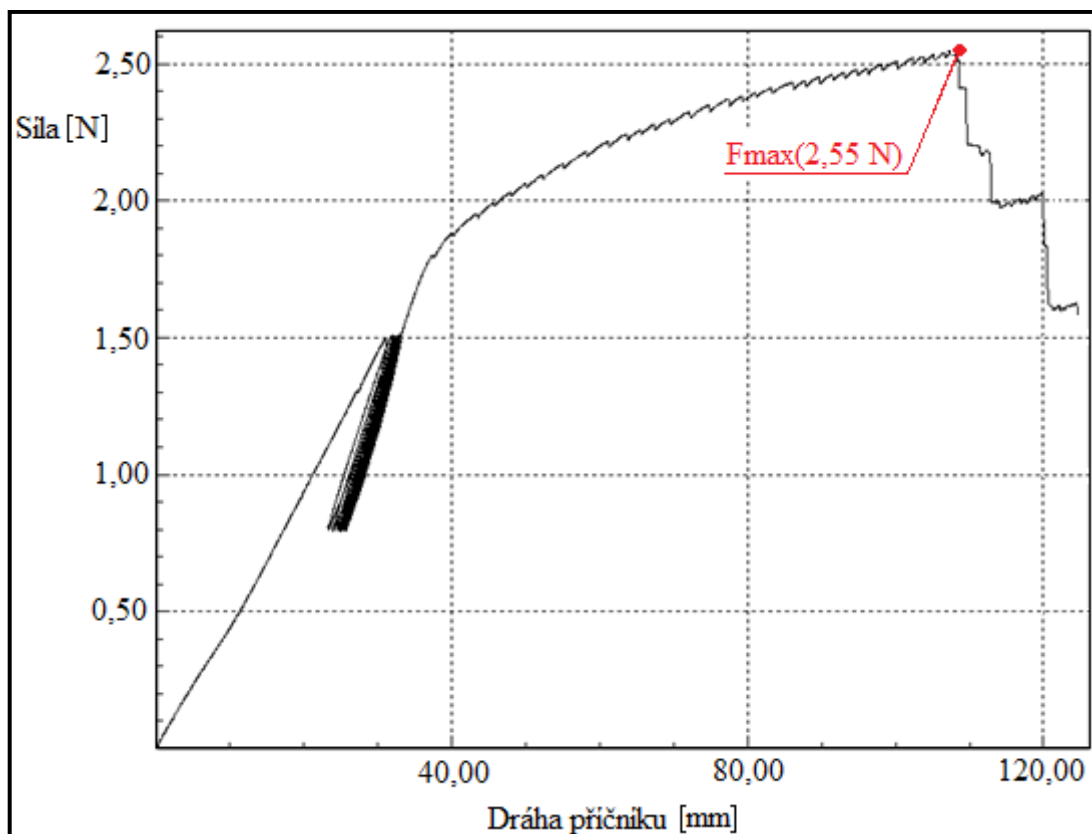
Obr. 7.9 Průměrná pracovní křivka vlákna PA6 67f12 s konfidenčními intervaly.

Cyklické namáhání

Statistické zpracování hodnot, zjištěných při cyklickém namáhání uvádí tabulka 7.2. Pro jednotlivé veličiny byly dle vztahu (6.13) stanoveny intervalové odhady s hladinou spolehlivosti $\alpha = 0,05$. Obr. 7.10 znázorňuje ukázkou pracovní křivky cyklického namáhání vlákna PA6 67f12. Cyklování probíhá mezi hodnotami 0,80 a 1,50 N. Pracovní křivky dalších typů vláken viz příloha C.

Tab. 7.2 Statistické zpracování zkoušek cyklického namáhání vlákna PA6 67f12.

STAT	Amax	Amax	Fmax	$\Delta\epsilon$	$\Delta\epsilon$
	[mm]	[%]	[N]	[mm]	[mm]
Počet zkoušek	10	10	10	10	10
Průměrná hodnota	103,45	20,69	2,49	1,96	2,29
Směrodatná odchylka	21,48	4,3	0,13	0,14	0,09
Variační koeficient	20,76	20,76	5,08	7,35	4,09
Minimální hodnota	66,66	13,33	2,31	1,76	2,13
Maximální hodnota	131,85	26,37	2,63	2,2	2,38
Interval spolehlivosti	88,09	17,62	2,4	1,86	2,23
	118,82	23,76	2,58	2,06	2,36



Obr. 7.10 Ilustrace cyklického namáhání vlákna PA6 67f12.

Pružnost

Tabulka 7.3 uvádí průměrný stupeň elasticity jednotlivých zkoušek vlákna PA6 67f12, jehož výpočet se řídil vztahem (7.7). Hodnoty elasticity byly zpracovány metodami statistiky (viz tab. 7.4). Tažnosti pro jednotlivé zatěžovací cykly všech typů vláken, jsou spolu se statistickým vyhodnocením uvedeny na CD příloze D.

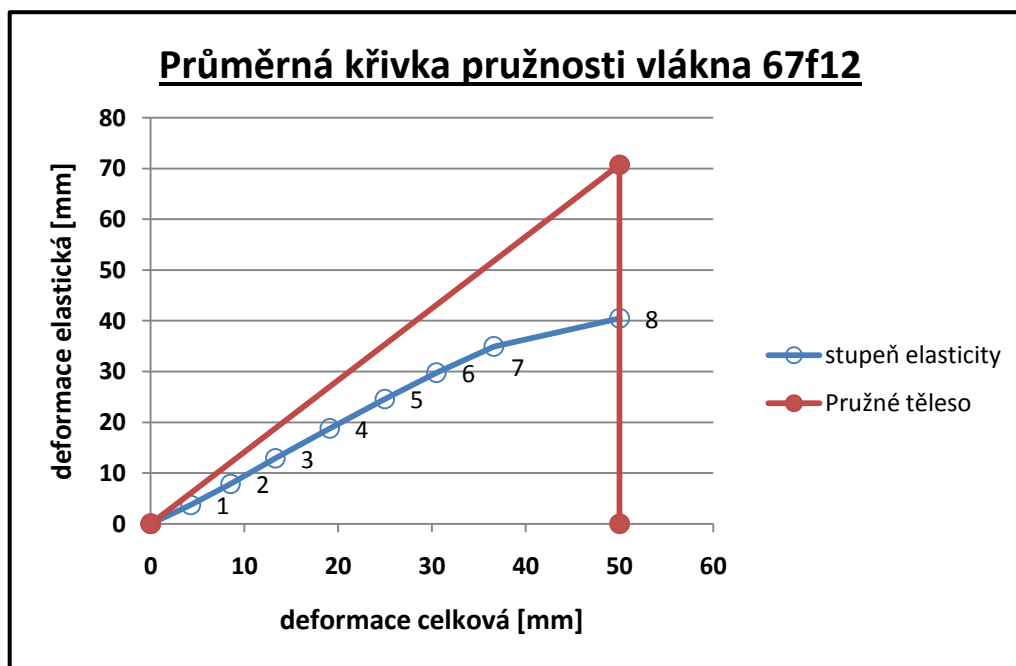
Tab. 7.3 Průměrný stupeň elasticity vlákna 67f12.

Zkouška	Pružnost vzorku $\bar{E}$ [%]
1	68,89
2	62,85
3	63,93

Tab. 7.4 Statistické zpracování elasticity vlákna 67f12.

STAT	$\bar{E}$ [%]
Průměrná hodnota	65,22
Směrodatná odchylka	3,22
Variační koeficient	4,94
Interval spolehlivosti	57,21 ~ 73,23

Grafické vyjádření závislosti celkové a elastické deformace, s proložením křivky elasticity ideálně pružného tělesa, znázorňuje graf na obr. 7.11.



Obr. 7.11 Průměrná křivka stupně elasticity vlákna PA6 67f12.

Graf na obr. 7.11 zachycuje průměrnou křivku stupně elasticity vlákna PA6 67f12, přičemž body 1 až 8 označují elasticitu i-tého cyklu zatěžování. Průměrné křivky dalších typů vláken spolu s ukázkou reálné křivky z trhačního přístroje jsou uvedeny v příloze C.

Nasákavost

Statistické zpracování výsledků zkoušek nasákavosti vlákna PA6 67f12, uvádí tabulka 7.5. Jednotlivé výsledky vzorků jsou uvedeny na CD příloze D.

Tab. 7.5 Statistické zpracování nasákavosti vlákna PA6 67f12.

STAT	PA6 67f12
Průměr zk. [%]	0,43
Směrodatná odch. [%]	0,37
Variační koeficient [%]	85,29
Interval spolehlivosti [%]	0,01 ~ 0,87

DSC – tepelné charakteristiky vlákna

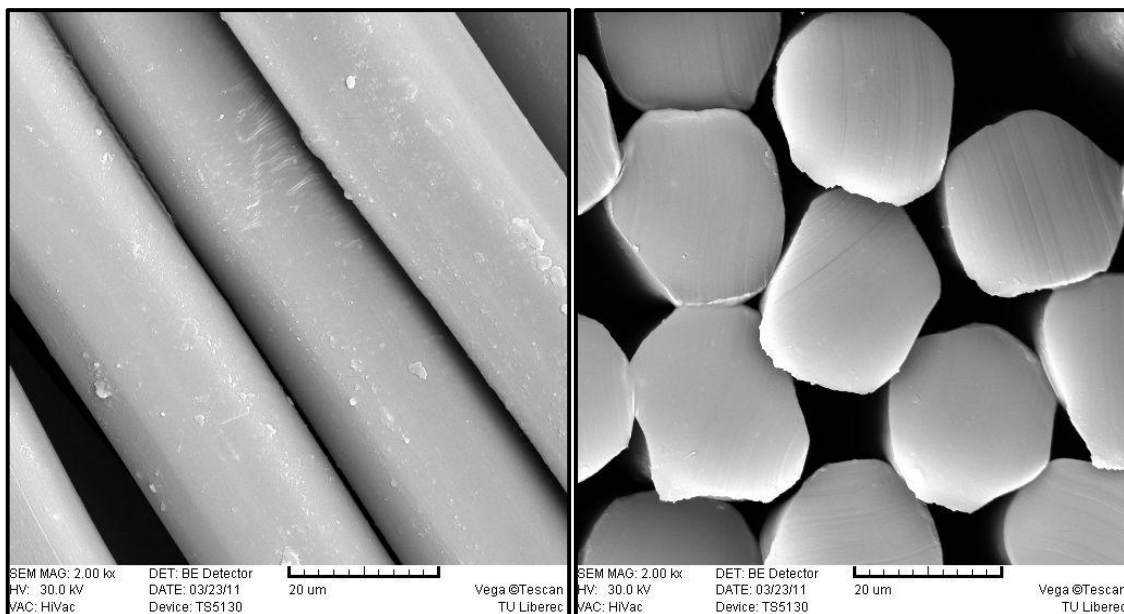
Hodnoty tepelných charakteristik vlákna PA6 67f12 jsou uvedeny v tabulce 7.6. Grafické znázornění průběhu zkoušek na DSC lze vidět v příloze C.

Tab. 7.6 Tepelné charakteristiky vlákna PA6 67f12.

Tepelná charakteristika	PA6 67f12
T _g [°C]	50,708
T _m [°C]	221,16
Krystalizace [°C]	185,951

Rastrovací elektronová mikroskopie

Obrázek 7.12 zachycuje podélný a příčný pohled vlákna PA6 67f12 z rastrovacího elektronového mikroskopu při 2000 násobném zvětšení.



Obr. 7.12 Podélný a příčný pohled vlákna PA6 67f12 - 2000 násobné zvětšení.

7.2.2 Vlákno PA6 FDY 33f12 SD RD IN

Jedná se o polyamidové dloužené vlákno, složené ze 12 filamentů a celkovou jemností 33 dtex. Vlákno má polomatný vzhled a kruhový průřez. Vlákno je provířené.

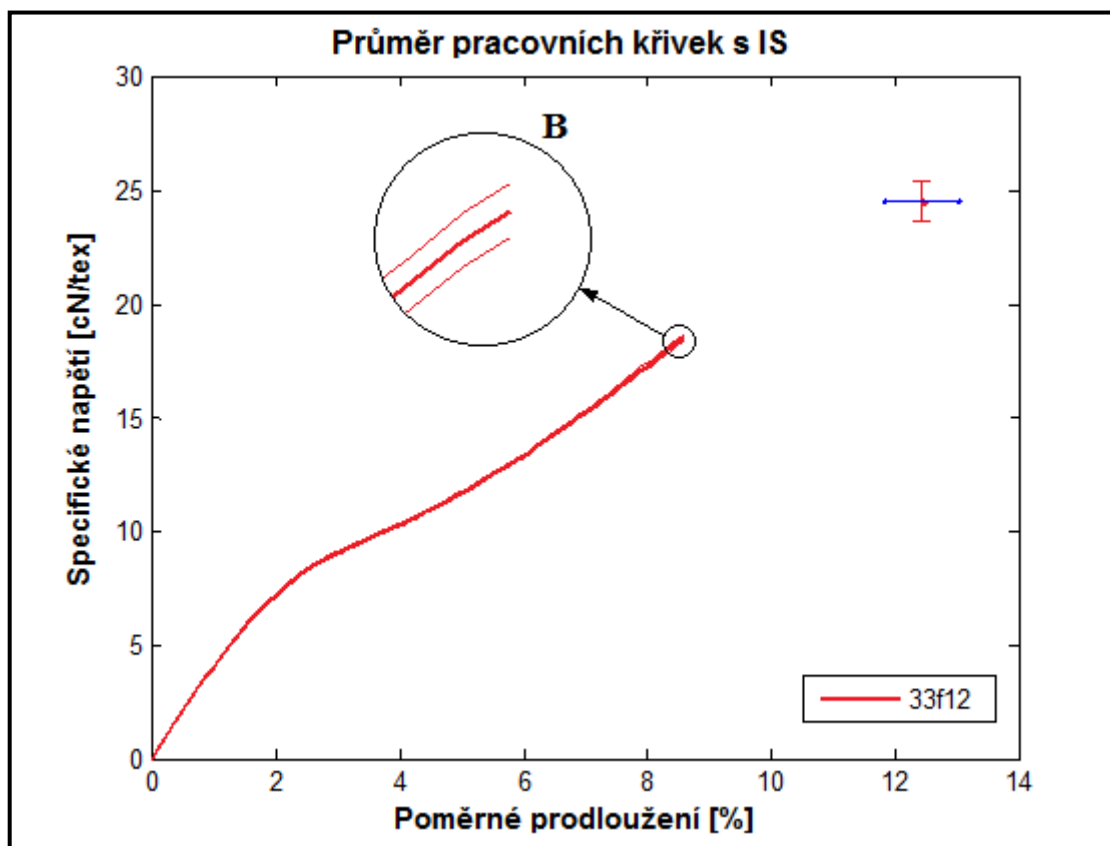
Pevnost v tahu

Statistické zpracování hodnot a jejich intervalové odhady s hladinou spolehlivosti $\alpha = 0,05$, jsou shrnuty v tabulce 7.7.

Tab. 7.7 Statistické zpracování zkoušek pevnosti v tahu PA6 33f12.

STAT	Amax	Amax	Fmax	W	E	f
	[mm]	[%]	[N]	[J]	[MPa]	[N/tex]
Počet zkoušek	50	50	50	50	50	50
Průměrná hodnota zk.	62,31	12,46	0,81	0,04	13,41	0,25
Směrodatná odchylka zk.	10,30	2,06	0,1	0,01	0,62	0,03
Variační koeficient zk.	16,53	16,53	12,2	27,39	4,6	12,20
Minimální hodnota zk.	43,07	8,61	0,58	0,02	11,89	0,18
Maximální hodnota zk.	90,16	18,03	1,01	0,07	14,65	0,31
Interval spolehlivosti	59,45	11,89	0,78	0,04	13,24	0,24
	65,16	13,03	0,84	0,04	13,58	0,26

Graf na obr. 7.13 zachycuje průměrnou pracovní křivku vlákna PA6 33f12 s konfidenčními intervaly. Zvětšení B na obr. 7.13 ukazuje rozpětí intervalu spolehlivosti průměrné pracovní křivky.



Obr. 7.13 Průměrná pracovní křivka vlákna PA6 33f12 s konfidenčními intervaly.

Cyklické namáhání

Statistické zpracování hodnot, zjištěných při cyklickém namáhání uvádí tabulka 7.8.

Tab. 7.8 Statistické zpracování zkoušek cyklického namáhání vlákna PA6 33f12.

STAT	A _{max}	A _{max}	F _{max}	Δε _c	Δε _p
	[mm]	[%]	[N]	[mm]	[mm]
Počet zkoušek	10	10	10	10	10
Průměrná hodnota	77,56	15,51	0,9	2,78	3,06
Směrodatná odchylka	14,69	2,94	0,07	0,15	0,17
Variační koeficient	18,94	18,94	7,43	5,51	5,42
Minimální hodnota	63,50	12,7	0,81	2,58	2,82
Maximální hodnota	112,88	22,58	1,02	3,01	3,31
Interval spolehlivosti	67,05	13,41	0,85	2,67	2,94
	88,07	17,61	0,94	2,89	3,17

Pružnost

Průměrný stupeň elasticity jednotlivých zkoušek vlákna PA6 33f12 s jejich statistickým zpracováním uvádí tabulky 7.9 a 7.10.

Tab. 7.9 Průměrný stupeň elasticity vlákna 33f12.

Zkouška	Pružnost vzorku $\bar{E}$ [%]
1	48,92
2	46,85
3	49,43

Tab. 7.10 Statistické zpracování elasticity vlákna 33f12.

STAT	$\bar{E}$ [%]
Průměrná hodnota	48,4
Směrodatná odchylka	1,36
Variační koeficient	2,82
Interval spolehlivosti	45,01 ~ 51,79

Nasákavost

Statistické zpracování výsledků zkoušek nasákavosti vlákna PA6 33f12, je uvedeno v tabulce 7.11.

Tab. 7.11 Statistické zpracování nasákavosti vlákna PA6 33f12.

STAT	PA6 33f12
Průměr zk. [%]	0,41
Směrodatná odch. [%]	0,31
Variační koeficient [%]	74,38
Interval spolehlivosti [%]	0,03 ~ 0,79

DSC – tepelné charakteristiky vlákna

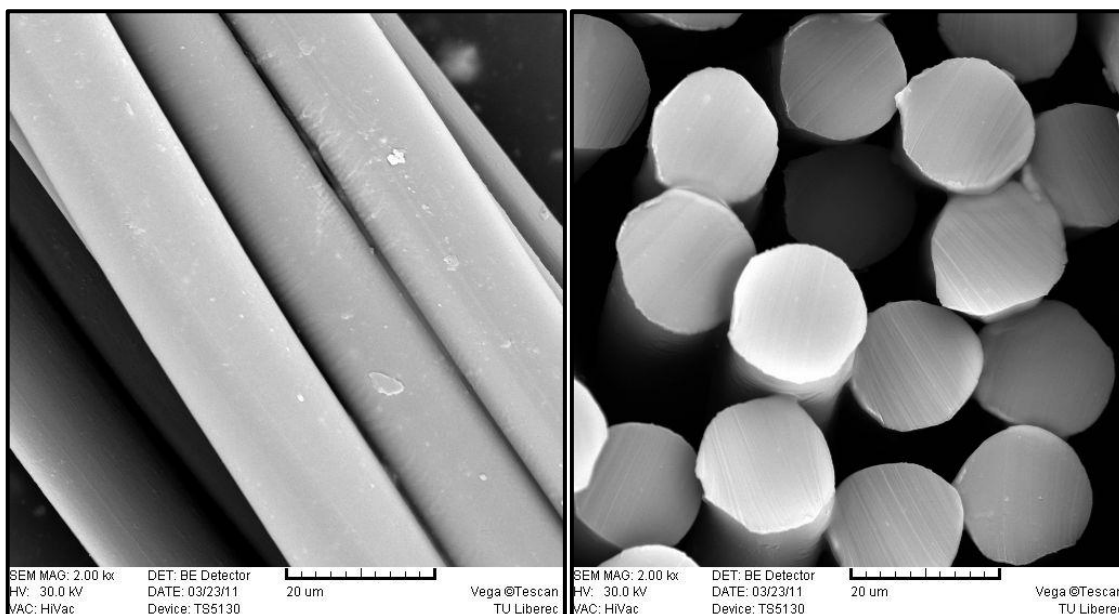
Hodnoty tepelných charakteristik vlákna PA6 33f12 lze vidět v tabulce 7.12.

Tab. 7.12 Tepelné charakteristiky vlákna PA6 33f12.

Teplotní charakteristika	PA6 33f12
T _g [°C]	52,251
T _m [°C]	220,192
Krystalizace [°C]	186,895

Rastrovací elektronová mikroskopie

Obrázek 7.14 zachycuje podélný a příčný pohled vlákna PA6 33f12 z rastrovacího elektronového mikroskopu při 2000 násobném zvětšení.



Obr. 7.14 Podélný a příčný pohled vlákna PA6 33f12 - 2000 násobné zvětšení.

7.2.3 Vlákno PA6 FDY 56f17 SD RD IN

Jedná se o polyamidové dloužené vlákno, složené ze 17 filamentů a celkovou jemností 56 dtex. Vlákno má polomatný vzhled a kruhový průřez. Vlákno je proviřované ve 44 vazných bodech na 1 m délky.

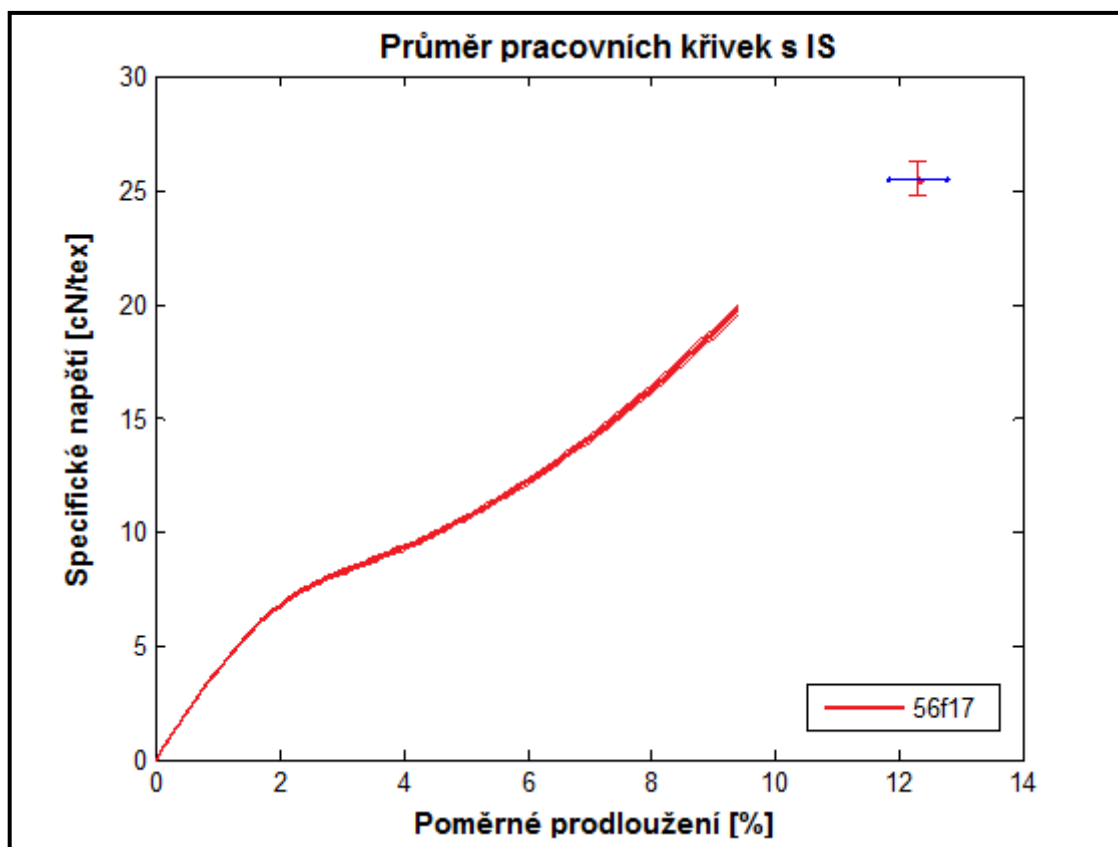
Pevnost v tahu

Zpracování hodnot zkoušek pevnosti a jejich intervalové odhady s hladinou spolehlivosti $\alpha = 0,05$, jsou shrnuty v tabulce 7.13.

Tab. 7.13 Statistické zpracování zkoušek pevnosti v tahu PA6 56f17.

STAT	Amax	Amax	Fmax	W	E	f
	[mm]	[%]	[N]	[J]	[MPa]	[N/tex]
Počet zkoušek	50	50	50	50	50	50
Průměrná hodnota zk.	61,40	12,28	1,42	0,06	21,99	0,25
Směrodatná odchylka zk.	8,02	1,6	0,15	0,02	0,66	0,03
Variační koeficient zk.	13,07	13,07	10,75	29,35	2,99	10,75
Minimální hodnota zk.	47,47	9,49	1,01	0,03	20,83	0,18
Maximální hodnota zk.	87,03	17,41	1,71	0,1	23,68	0,31
Interval spolehlivosti	59,18	11,84	1,38	0,05	21,81	0,25
	63,63	12,72	1,46	0,07	22,17	0,26

Graf na obr. 7.15 zachycuje průměrnou pracovní křivku všech měření vlákna PA6 56f17 s konfidenčními intervaly.



Obr. 7.15 Průměrná pracovní křivka vlákna PA6 56f17 s konfidenčními intervaly.

Cyklické namáhání

Statistické zpracování hodnot cyklického namáhání s jejich intervalovými odhady, jsou shrnuty v tabulce 7.14.

Tab. 7.14 Statistické zpracování zkoušek cyklického namáhání vlákna PA6 56f17.

STAT	A _{max}	A _{max}	F _{max}	Δε _c	Δε _p
	[mm]	[%]	[N]	[mm]	[mm]
Počet zkoušek	10	10	10	10	10
Průměrná hodnota	63,17	12,63	1,55	2,31	2,79
Směrodatná odchylka	6,85	1,37	0,11	0,18	0,16
Variační koeficient	10,84	10,84	6,95	7,84	5,79
Minimální hodnota	55,54	11,11	1,35	2,01	2,50
Maximální hodnota	76,1	15,22	1,69	2,55	3,04
Interval spolehlivosti	58,27	11,65	1,48	2,18	2,67
	68,07	13,61	1,63	2,44	2,90

Pružnost

Průměrný stupeň elasticity jednotlivých zkoušek vlákna PA6 56f17 a jejich zpracování uvádí tabulky 7.15 a 7.16.

Tab. 7.15 Průměrný stupeň elasticity vlákna 56f17.

Zkouška	Pružnost vzorku $\bar{E}$ [%]
1	55,1
2	54,98
3	49,4

Tab. 7.16 Statistické zpracování stupně elasticity vlákna 56f17.

STAT	$\bar{E}$ [%]
Průměrná hodnota	53,16
Směrodatná odchylka	3,26
Variační koeficient	6,13
Interval spolehlivosti	45,06 ~ 61,25

Nasákavost

Statistické zpracování výsledky zkoušek nasákavosti vlákna PA6 56f17, lze vidět v tabulce 7.17.

Tab. 7.17 Statistické zpracování nasákavosti vlákna PA6 56f17.

STAT	PA6 56f17
Průměr zk. [%]	0,13
Směrodatná odch. [%]	0,1
Variační koeficient [%]	77,61
Interval spolehlivosti [%]	0,00 ~ 0,25

DSC – tepelné charakteristiky vlákna

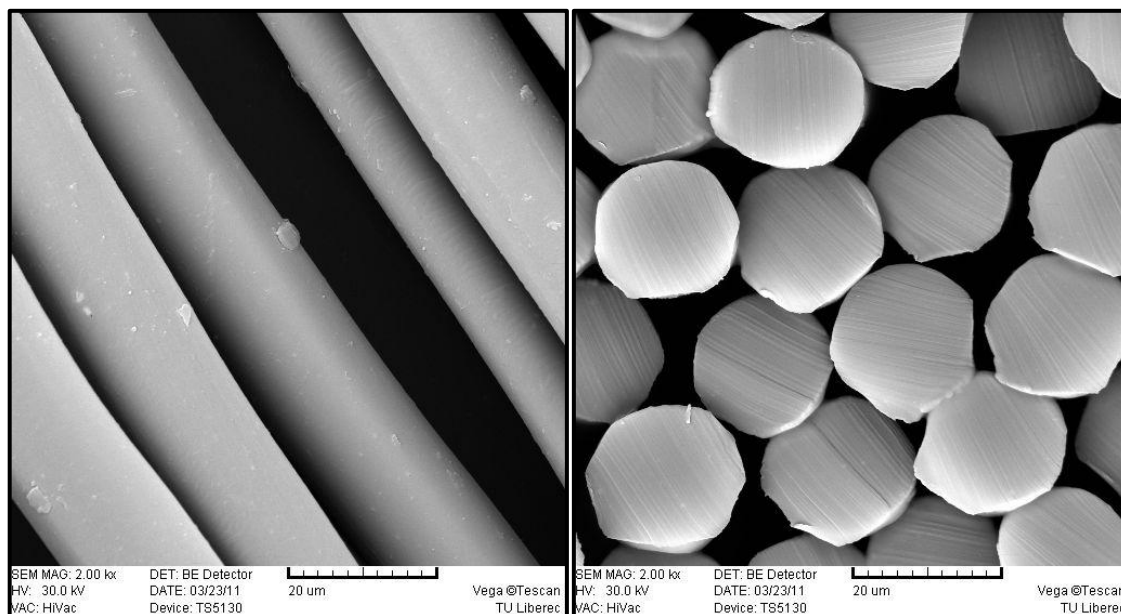
Hodnoty tepelných charakteristik vlákna PA6 56f17 viz tabulka 7.18.

Tab. 7.18 Tepelné charakteristiky vlákna PA6 56f17.

Teplotní charakteristika	PA6 56f17
T _g [°C]	53,993
T _m [°C]	220,663
Krystalizace [°C]	186,921

Rastrovací elektronová mikroskopie

Obrázek 7.16 zachycuje podélný a příčný pohled vlákna PA6 56f17 z rastrovacího elektronového mikroskopu při 2000 násobném zvětšení.

**Obr. 7.16** Podélný a příčný pohled vlákna PA6 56f17 - 2000 násobné zvětšení.

7.2.4 Vláknó PA6 FDY 67f13

Jedná se o polyamidové dloužené vlákno, složené ze 13 filamentů a celkovou jemností 67 dtex. Vláknó má polomatný vzhled a trojúhelníkový průřez.

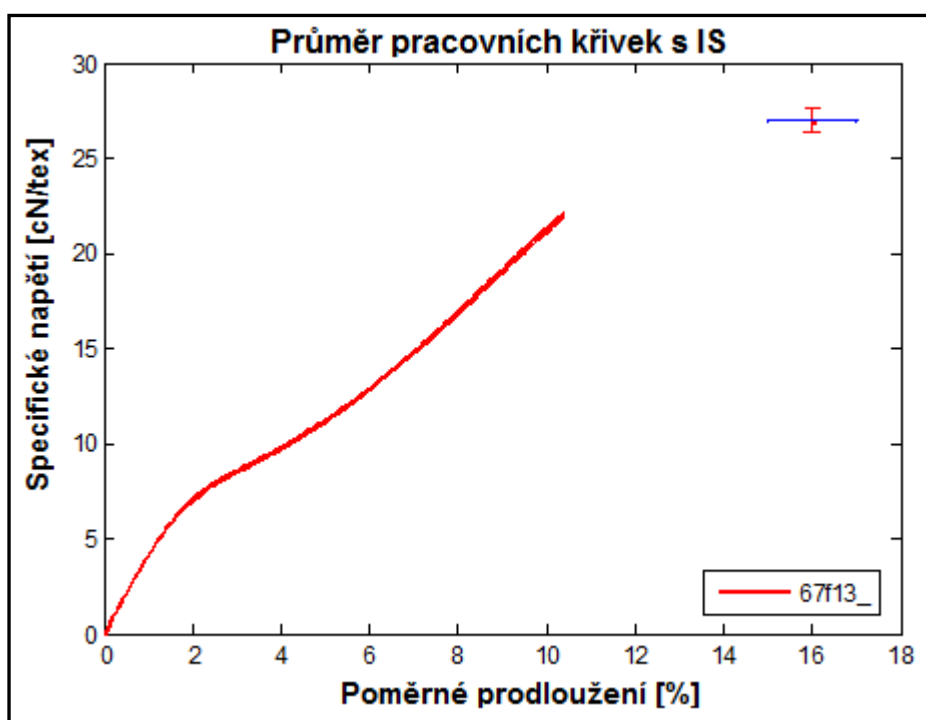
Pevnost v tahu

Zpracování hodnot pevnosti v tahu a jejich intervalové odhady uvádí tabulka 7.19.

Tab. 7.19 Statistické zpracování zkoušek pevnosti v tahu PA6 67f13.

STAT	Amax	Amax	Fmax	W	E	f
	[mm]	[%]	[N]	[J]	[MPa]	[N/tex]
Počet zkoušek	50	50	50	50	50	50
Průměrná hodnota zk.	80,9	16,18	1,81	0,11	28,71	0,27
Směrodatná odchylka zk.	19,65	3,93	0,15	0,04	0,81	0,02
Variační koeficient zk.	24,3	24,3	8,23	37,63	2,81	8,23
Minimální hodnota zk.	52,49	10,5	1,43	0,04	26,88	0,21
Maximální hodnota zk.	150,48	30,1	2,22	0,25	30,04	0,33
Interval spolehlivosti	75,45	15,09	1,77	0,10	28,49	0,26
	86,35	17,27	1,85	0,12	28,93	0,28

Graf na obr. 7.17 zachycuje průměrnou pracovní křivku vlákna PA6 67f13 s konfidenčními intervaly.



Obr. 7.17 Průměrná pracovní křivka vlákna PA6 67f13 s konfidenčními intervaly.

Cyklické namáhání

Statistické zpracování hodnot, zjištěných při cyklickém namáhání uvádí tabulka 7.20. Pro jednotlivé veličiny byly dle vztahu (6.13) stanoveny intervalové odhady s hladinou spolehlivosti $\alpha = 0,05$.

Tab. 7.20 Statistické zpracování zkoušek cyklického namáhání vlákna PA6 67f13.

STAT	A _{max}	A _{max}	F _{max}	Δε _c	Δε _p
	[mm]	[%]	[N]	[mm]	[mm]
Počet zkoušek	10	10	10	10	10
Průměrná hodnota	88,26	17,65	1,8	2,96	3,36
Směrodatná odchylka	28,83	5,77	0,18	0,11	0,13
Variační koeficient	32,66	32,66	10,16	3,85	3,88
Minimální hodnota	55,30	11,06	1,59	2,82	3,16
Maximální hodnota	147,39	29,48	2,13	3,12	3,52
Interval spolehlivosti	67,64	13,52	1,67	2,88	3,27
	108,88	21,78	1,93	3,04	3,46

Pružnost

Průměrný stupeň elasticity jednotlivých zkoušek vlákna PA6 67f13 s jejich statistickým zpracováním uvádí tabulky 7.21 a 7.22.

Tab. 7.21 Průměrná stupeň elasticity vlákna 67f13.

Zkouška	Pružnost vzorku $\bar{E}$ [%]
1	47,53
2	50,44
3	50,61

Tab. 7.22 Statistické zpracování stupně elasticity vlákna 67f13.

STAT	$\bar{E}$ [%]
Průměrná hodnota	49,53
Směrodatná odchylka	1,73
Variační koeficient	3,5
Interval spolehlivosti	45,23 ~ 53,83

Nasákavost

Statistické zpracování zkoušek nasákavosti vlákna PA6 67f13 viz tabulka 7.23.

Tab. 7.23 Statistické zpracování nasákavosti vlákna PA6 67f13.

STAT	PA6 67f13
Průměr zk. [%]	0,39
Směrodatná odch. [%]	0,12
Variační koeficient [%]	30,82
Interval spolehlivosti [%]	0,24 ~ 0,54

DSC – tepelné charakteristiky vlákna

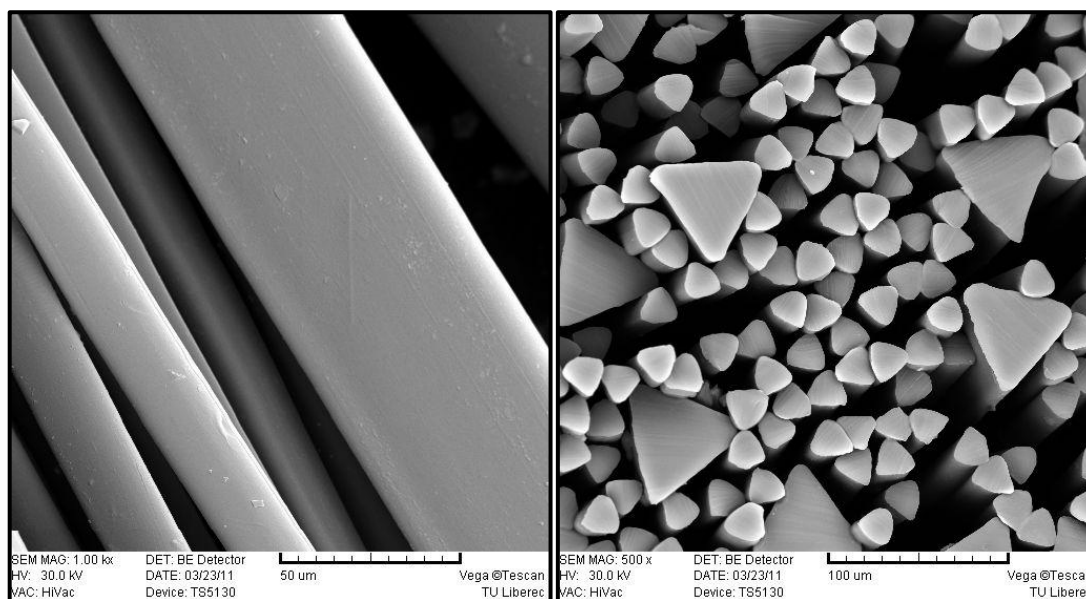
Hodnoty tepelných charakteristik vlákna PA6 67f13 jsou uvedeny v tabulce 7.24.

Tab. 7.24 Tepelné charakteristiky vlákna PA6 67f13.

Teplotní charakteristika	PA6 67f13
T _g [°C]	59,222
T _m [°C]	221,601
Krystalizace [°C]	184,905

Rastrovací elektronová mikroskopie

Obrázek 7.18 vyobrazuje podélný pohled při 1000 násobném zvětšení a příčný pohled při 500 násobném zvětšení vlákna PA6 67f13.



Obr. 7.18 Podélný (zvětšení 1000x) a příčný pohled (zvětšení 500x) vlákna PA6 67f13.

7.2.5 Vláknó PA6 FDY 67f14 SD RD IN

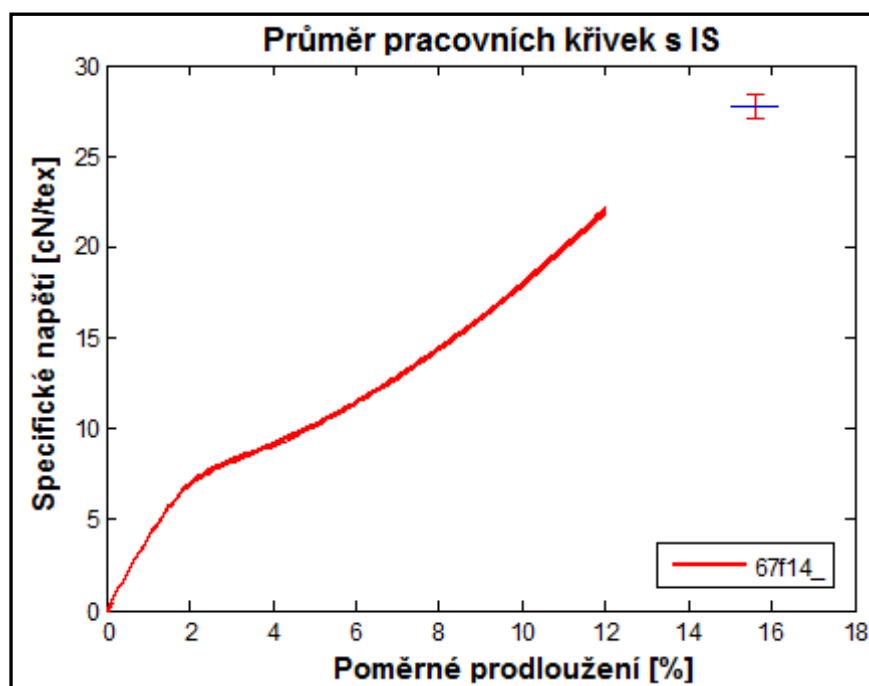
Jedná se o polyamidové dloužené vlákno, složené ze 14 filamentů a celkovou jemností 67 dtex. Průřez vlákna je kruhový a má polomatný vzhled. Vláknó je proviřované.

Pevnost v tahu

Zpracování hodnot pevnosti v tahu a jejich intervalové odhady s hladinou spolehlivosti $\alpha = 0,05$, jsou uvedeny v tabulce 7.25. Graf na obr. 7.19 zachycuje průměrnou pracovní křivku vlákna PA6 67f14 s konfidenčními intervaly.

Tab. 7.25 Statistické zpracování zkoušek pevnosti v tahu PA6 67f14.

STAT	Amax	Amax	Fmax	W	E	f
	[mm]	[%]	[N]	[J]	[MPa]	[N/tex]
Počet zkoušek	50	50	50	50	50	50
Průměrná hodnota zk.	77,75	15,55	1,86	0,1	27,08	0,28
Směrodatná odchylka zk.	9,47	1,89	0,15	0,03	1,21	0,02
Variační koeficient zk.	12,18	12,18	7,89	26,52	4,47	7,89
Minimální hodnota zk.	60,44	12,09	1,45	0,07	24,31	0,22
Maximální hodnota zk.	110,63	22,13	2,17	0,18	29,18	0,32
Interval spolehlivosti	75,13	15,03	1,82	0,09	26,74	0,27
	80,38	16,07	1,90	0,11	27,42	0,28



Obr. 7.19 Průměrná pracovní křivka vlákna PA6 67f14 s konfidenčními intervaly.

Cyklické namáhání

Statistické zpracování hodnot, zjištěných při cyklickém namáhání lze vidět v tabulce 7.26. Pro jednotlivé veličiny byly dle vztahu (6.13) stanoveny intervalové odhady s hladinou spolehlivosti $\alpha = 0,05$.

Tab. 7.26 Statistické zpracování zkoušek cyklického namáhání vlákna PA6 67f14.

STAT	A _{max}	A _{max}	F _{max}	Δε _c	Δε _p
	[mm]	[%]	[N]	[mm]	[mm]
Počet zkoušek	10	10	10	10	10
Průměrná hodnota	80,53	16,11	2,01	3,22	3,55
Směrodatná odchylka	8,15	1,63	0,15	0,16	0,13
Variační koeficient	10,12	10,12	7,53	5,03	3,72
Minimální hodnota	69,42	13,88	1,79	3,03	3,41
Maximální hodnota	94,51	18,9	2,2	3,53	3,80
Interval spolehlivosti	74,67	14,94	1,9	3,10	3,46
	86,36	17,28	2,12	3,33	3,65

Pružnost

Průměrný stupeň elasticity jednotlivých zkoušek vlákna PA6 67f14 s jejich statistickým zpracováním jsou uvedeny v tabulce 7.27 a 7.28.

Tab. 7.27 Pružnost vlákna 67f14.

Zkouška	Pružnost vzorku $\bar{E}$ [%]
1	52,52
2	53,17
3	53,77

Tab. 7.28 Statistické zpracování stupně elasticity vlákna 67f14.

STAT	$\bar{E}$ [%]
Průměrná hodnota	53,15
Směrodatná odchylka	0,63
Variační koeficient	1,18
Interval spolehlivosti	51,59 ~ 54,7

Nasákavost

Statistické zpracování zkoušek nasákavosti vlákna PA6 67f14, uvádí tabulka 7.29.

Tab. 7.29 Statistické zpracování nasákavosti vlákna PA6 67f14.

STAT	PA6 67f14
Průměr zk. [%]	0,57
Směrodatná odch. [%]	0,09
Variační koeficient [%]	15,74
Interval spolehlivosti [%]	0,46 ~ 0,68

DSC – tepelné charakteristiky vlákna

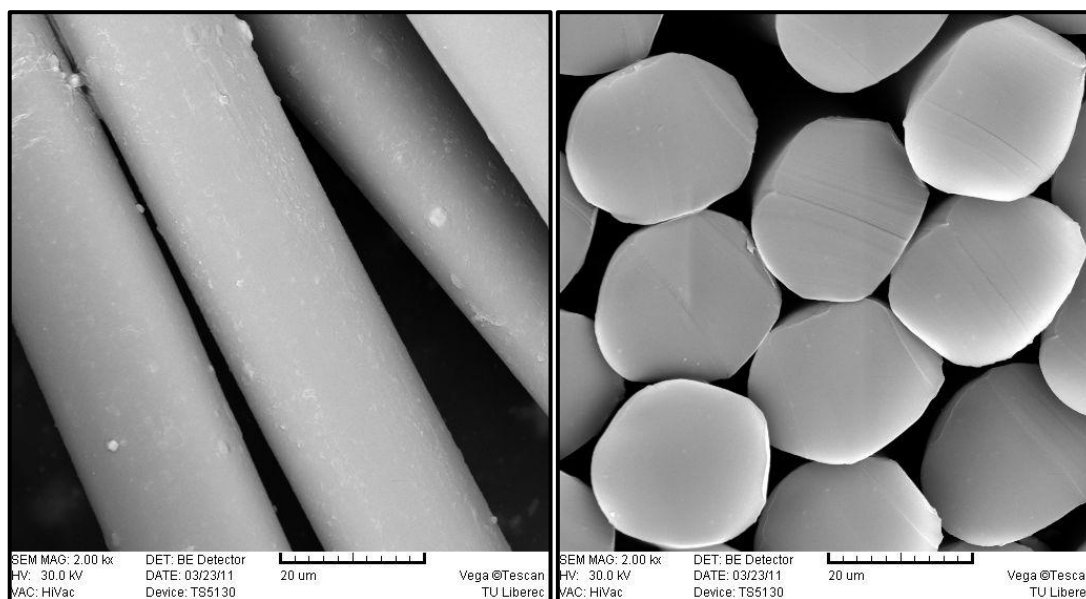
Hodnoty tepelných charakteristik vlákna PA6 67f14 jsou uvedeny v tabulce 7.30.

Tab. 7.30 Tepelné charakteristiky vlákna PA6 67f14.

Tepelná charakteristika	PA6 67f14
T _g [°C]	59,222
T _m [°C]	221,601
Krystalizace [°C]	184,905

Rastrovací elektronová mikroskopie

Obrázek 7.20 zachycuje podélný a příčný pohled vlákna PA6 67f14 z rastrovacího elektronového mikroskopu při 2000 násobném zvětšení.



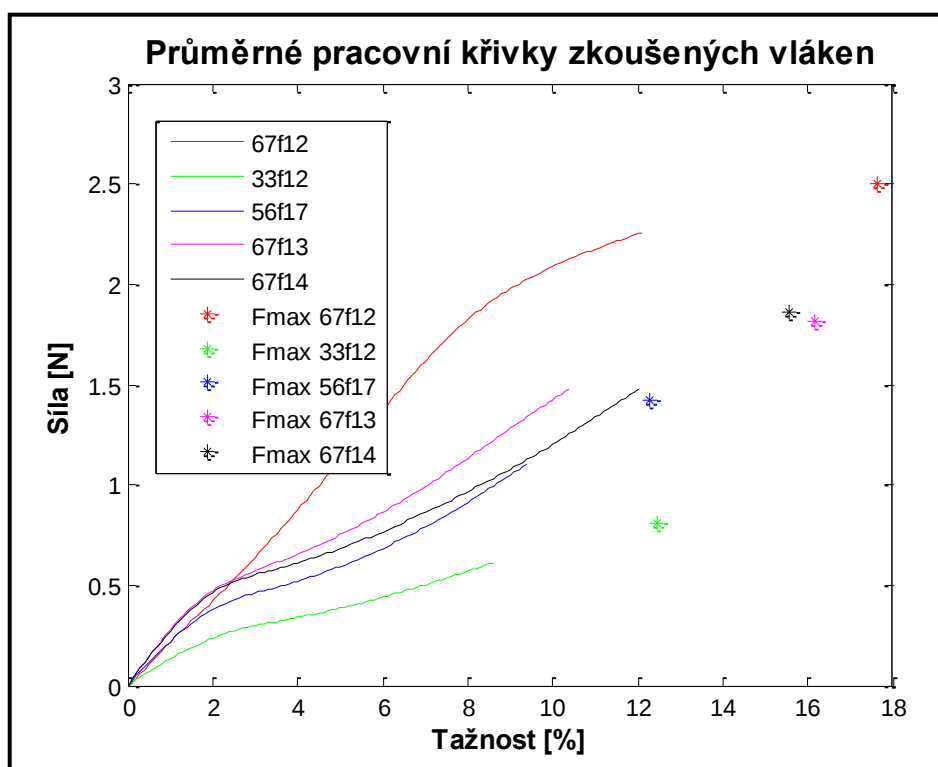
Obr. 7.20 Podélný a příčný pohled vlákna PA6 67f14 – 2000 násobné zvětšení.

8. ANALÝZA A DISKUZE VÝSLEDKŮ

Vlákna byla podrobena pěti zkouškám mechanických a fyzikálních vlastností a obrazové dokumentaci na elektronovém rastrovacím mikroskopu. Cílem této kapitoly je shrnutí jednotlivých výsledků statistického zpracování a jejich grafické vyjádření pomocí programu MATLAB.

8.1 PEVNOST

Při zpracování zkoušek pevnosti jednotlivých vlákenných alternativ, byla v programu MATLAB vygenerována průměrná tahová křivka ze všech měření, pro jednotlivé typy vláken. Obrázek 8.1 vykresluje tyto průměrné křivky do jednoho grafu s vyznačením průměrné maximální síly ($\bar{F}_{\max}$).



Obr. 8.1 Průměrné pracovní křivky zkoušených vláken.

Jak je z obr. 8.1 patrné, nejvyšší průměrné maximální pevnosti, za současného nejvyššího prodloužení dosahuje vlákno **67f12**, tedy vlákno ve výrobě doposud používané. Jeho pevnost průměrně dosahuje hodnoty 2,5 N, při protažení 17,63 %. Možnou alternativou jsou pak vlákna 67f13 a 67f14, která jsou stejné jemnosti (67 dtex)

a skládají se ze 13 a 14 filamentů. Jejich pevnost dosahuje průměrných hodnot 1,81 N (při protažení 16,18 % - 67f13) a 1,86 N (při protažení 15,55 % - 67f14). Vliv nižší pevnosti na výsledné parametry míče, je nutné experimentálně ověřit při samotné výrobě míčů. Zbylá vlákna nelze vzhledem k nízké pevnosti a tažnosti do výroby doporučit.

8.1.1 Porovnání závislosti sledovaných znaků pevnosti vláken

Pro zkoumání závislosti rozptylů a výběrových průměrů naměřených dat, byly využity testy statistických hypotéz v programu QC Expert TriloByte, při hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Při testování byla vždy ověřována shoda dvou výběrů pro různé typy vláken. Formulace testovaných hypotéz jsou shodné pro všechny prováděné zkoušky, kdy jsou předmětem sledování významnosti rozdílu mezi dvěma rozptyly σ^2 a středními hodnotami μ výběrového souboru dat.

V první fázi byla porovnávána významnost rozdílu mezi dvěma výběrovými rozptyly σ^2 pomocí F-testu. Testovací kritérium bylo stanoveno dle vztahu (6.18), přičemž bylo ověřováno následující tvrzení:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \text{ proti alternativě } H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Po vyhodnocení závislosti dvou rozptylů je dvouvýběrovým t-testem porovnávána shoda výběrových průměrů. Jsou li rozptyly shodné, je testovací kritérium stanoveno dle vztahu (6.19), v případě rozdílných rozptylů, je výpočet testovacího kritéria definován vztahem (6.20). Ověřovaná tvrzení jsou formulována následovně:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ proti alternativě } H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

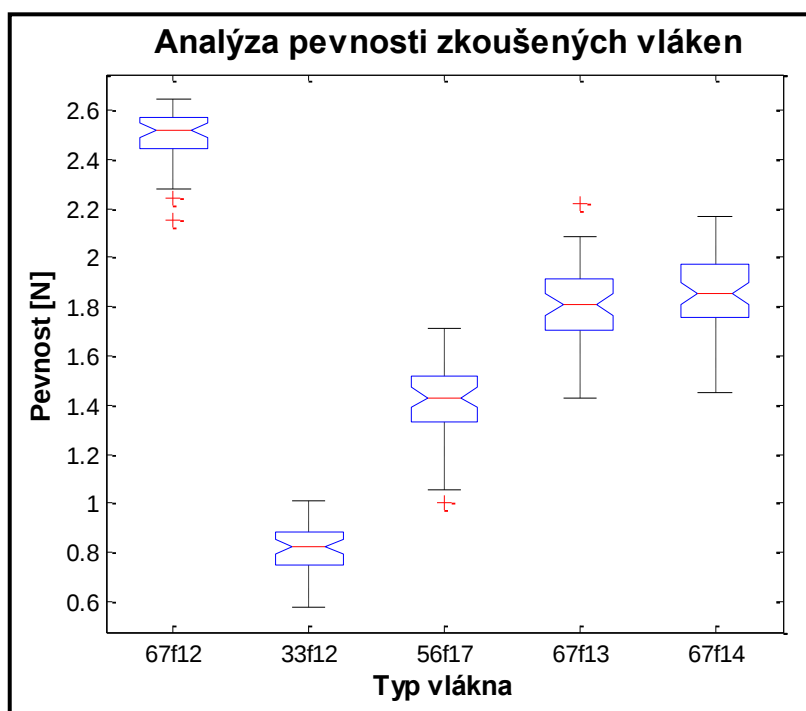
Přehled výstupních hodnot programu QC Expert společně s grafickým vyjádřením výsledků v podobě Q-Q grafu pro dva výběry, krabicových grafů a grafů hustoty normálního rozdělení, je možné vidět na CD příloze D. Přehled výsledků statistického testování hypotéz o shodě rozptylů a výběrových průměrů zkoušek pevnosti, je uveden v tabulce 8.1.

Tab. 8.1 Porovnávání pevnosti dvou výběrů zkoušených vláken.

Parametr Kombinace *)	$\sigma_0 = \sigma_1$	$\mu_0 = \mu_1$	rozdělení
AB	shodné	rozdílné	rozdílná
AC	rozdílné	rozdílné	rozdílná
AD	rozdílné	rozdílné	rozdílná
AE	rozdílné	rozdílné	rozdílná
BC	rozdílné	rozdílné	rozdílná
BD	rozdílné	rozdílné	rozdílná
BE	rozdílné	rozdílné	rozdílná
CD	shodné	rozdílné	rozdílná
CE	shodné	rozdílné	rozdílná
DE	shodné	shodné	shodná

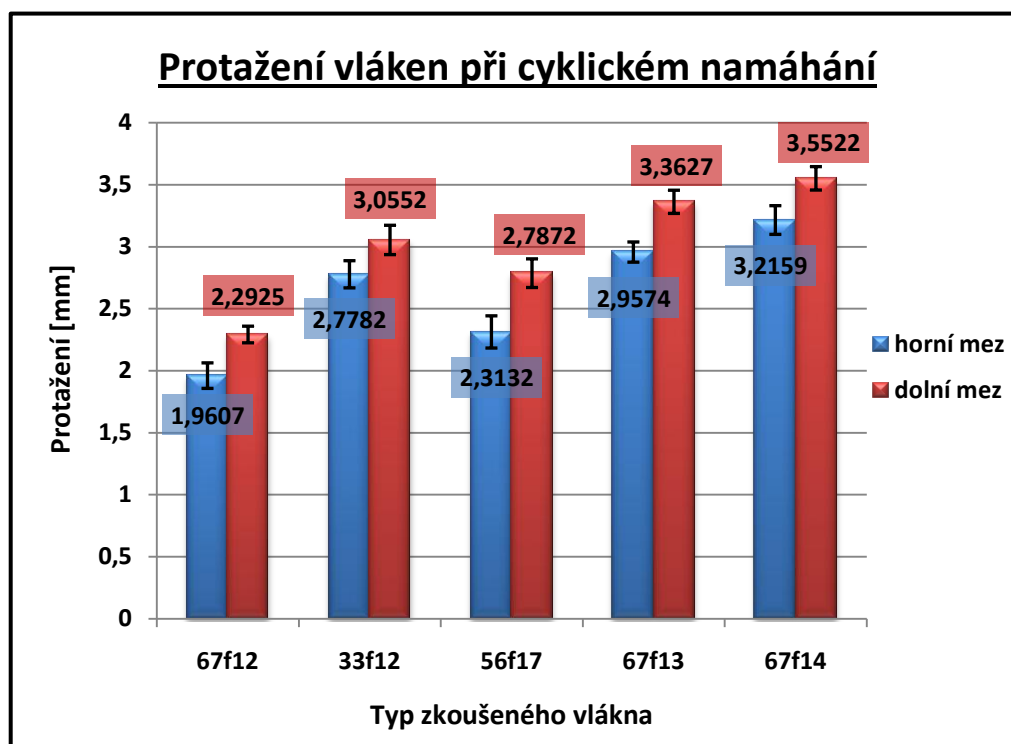
*) A = 67f12; B = 33f12; C = 56f17; D = 67f13; E = 67f14

Jak z tabulky 8.1 vyplývá, při statistickém ověřování závislosti rozptylů a průměrů pevnosti různých typů vláken, se zkoušená vlákna od sebe zásadně liší. Výjimku tvoří porovnání vláken 67f13 (D) a 67f14 (E), kde jsou jak rozptyly, tak průměry shodné. V praxi to znamená, že při hledání alternativního vlákna, je možné zaměnit vlákno D a E. Při hledání nejvhodnější náhrady současně používaného vlákna, je však ještě nutné zohlednit další parametry, jako je pružnost a nasákavost vlákna. Grafické vyjádření rozložení pevností jednotlivých vláken viz obr. 8.2.

**Obr. 8.2** Průměrné pracovní křivky zkoušených vláken.

8.2 CYKlickÉ NAMÁHÁNÍ

Jak již bylo popsáno v kapitole 8.1, při zkouškách cyklického namáhání probíhá zatěžování vláken v cyklech, mezi předem definovanými mezemi. Na horní mezi zatěžování se na zkoušeném vlákně projevuje deformace celková a na dolní mezi zatěžování deformace plastická. Grafické znázornění protažení při plastické a elastické deformaci testovaných vláken viz obr. 8.3.



Obr. 8.3 Graf protažení vláken na horní a dolní mezi zatěžování.

Graf na obr. 8.3 zobrazuje protažení vláken na horní a dolní mezi zatěžování, přičemž vlákna PA6 67f12 dosahují nejnižšího protažení na obou mezích zátěžových cyklů. Hodnoty protažení testovaných vláken jsou doplněny konfidenčními intervaly s hladinou spolehlivosti 95 %.

8.2.1 Porovnání závislosti sledovaných znaků cyklického namáhání vláken

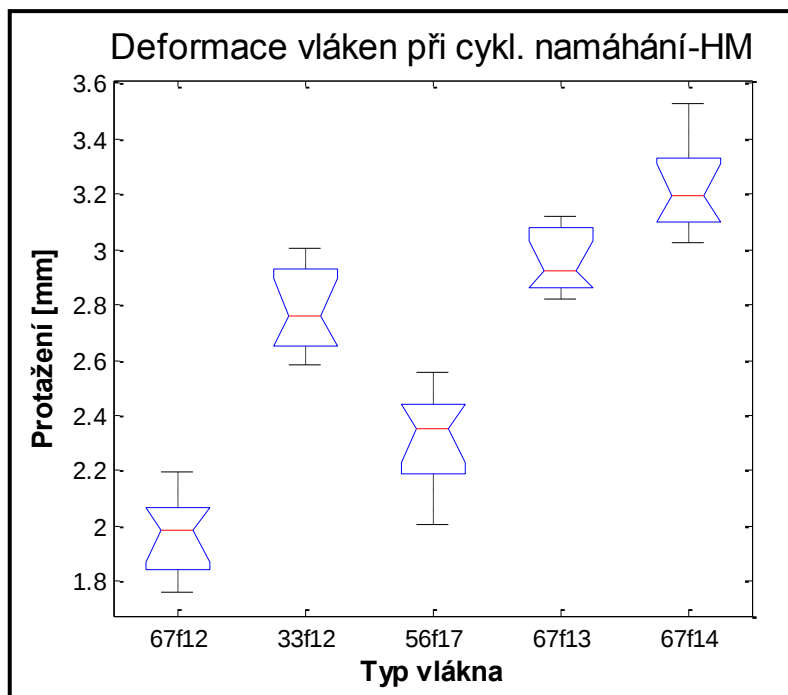
Při statistickém ověřování závislosti, byly oba typy deformací testovány samostatně. Porovnání hodnot prodloužení odpovídající celkové deformaci na horní mezi zatěžování, uvádí tabulka 8.2.

Tab. 8.2 Porovnávání protažení dvou výběrů při cyklickém namáhání - horní mez zatěžování.

Parametr Kombinace *)	$\sigma_0 = \sigma_1$	$\mu_0 = \mu_1$	rozdělení
AB	shodné	rozdílné	rozdílná
AC	shodné	rozdílné	rozdílná
AD	shodné	rozdílné	rozdílná
AE	shodné	rozdílné	rozdílná
BC	shodné	rozdílné	rozdílná
BD	shodné	rozdílné	rozdílná
BE	shodné	rozdílné	rozdílná
CD	shodné	rozdílné	rozdílná
CE	shodné	rozdílné	rozdílná
DE	shodné	rozdílné	rozdílná

*) A = 67f12; B = 33f12; C = 56f17; D = 67f13; E = 67f14

Ze statistického ověřování závislosti protažení jednotlivých typů vláken (tab. 8.2), je vidět že střední hodnoty výběrových souborů jsou vzájemně odlišné. Shoda nenastává v žádné kombinaci porovnávaných vláken. Testované vzorky se shodují pouze v rozptýlení hodnot okolo sledovaného výběrového průměru. Rozdílnost polohy středních hodnot s vyznačením rozptylu hodnot, je graficky znázorněno pomocí vrubových krabicových grafů na obr. 8.4.



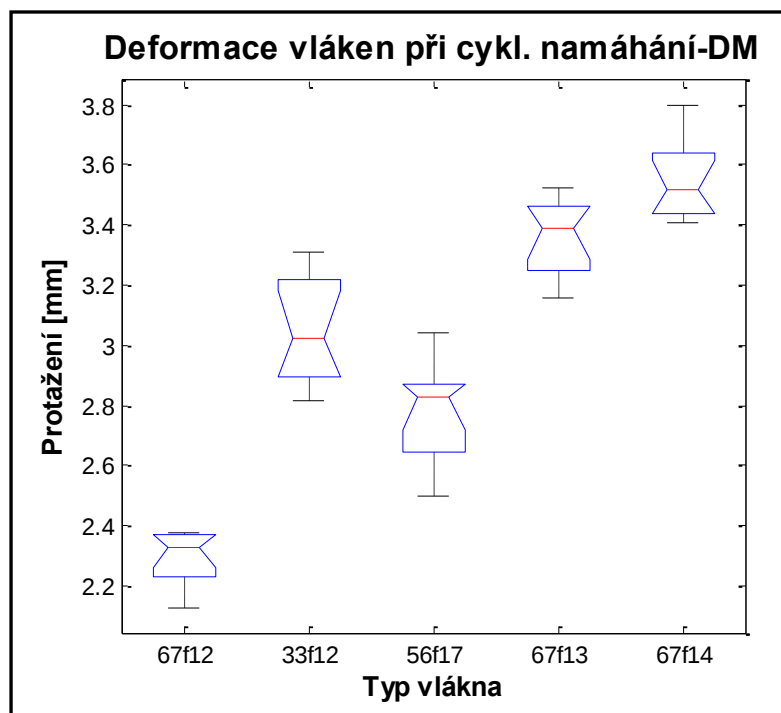
Obr. 8.4 Graf protažení vláken při cyklickém namáhání – horní mez zatěžování.

Stejná situace nastává i v případě porovnávání hodnot protažení na dolní mezi zatěžování – plastické deformaci. Testované výběry jsou rozdílné při porovnávání středních hodnot výběrů a shodné svým rozptýlením naměřených hodnot. Porovnání jednotlivých kombinací vláken na dolní mezi zatěžování je uvedeno v tab. 8.3. Grafické znázornění rozdílnosti středních hodnot s vyznačením rozptylu, je vidět na obr. 8.5.

Tab. 8.3 Porovnávání protažení dvou výběrů při cyklickém namáhání – *dolní mez zatěžování*.

Parametr Kombinace *)	$\sigma_0 = \sigma_1$	$\mu_0 = \mu_1$	rozdělení
AB	shodné	rozdílné	rozdílná
AC	shodné	rozdílné	rozdílná
AD	shodné	rozdílné	rozdílná
AE	shodné	rozdílné	rozdílná
BC	shodné	rozdílné	rozdílná
BD	shodné	rozdílné	rozdílná
BE	shodné	rozdílné	rozdílná
CD	shodné	rozdílné	rozdílná
CE	shodné	rozdílné	rozdílná
DE	shodné	rozdílné	shodná

*) A = 67f12; B = 33f12; C = 56f17; D = 67f13; E = 67f14

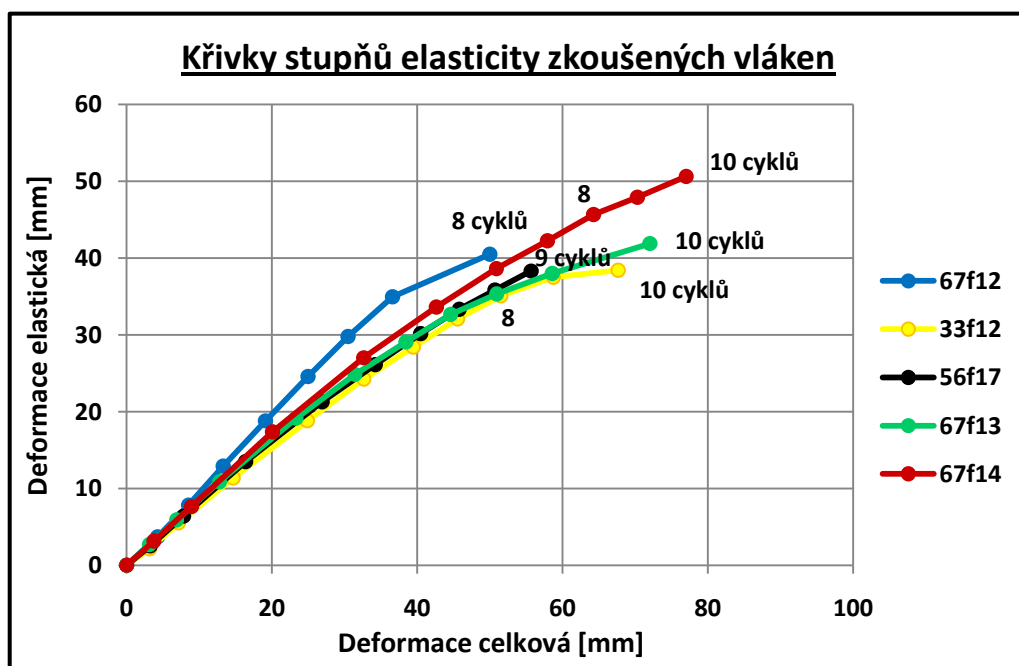


Obr. 8.5 Graf protažení vláken při cyklickém namáhání – *dolní mez zatěžování*.

Z uvedeného vyplývá skutečnost, že při porovnávání hodnot prodloužení vlákna při cyklickém zatěžování, nemá současně používané vlákno PA6 67f12 mezi testovanými vlákny vhodnou alternativu.

8.3 PRUŽNOST

Zkoušky pružnosti jsou charakteristické opakujícím se zatěžováním zkoušeného vzorku za současného zvyšování napětí. Jelikož je 10 úrovní zatěžování definováno procentuálním vyjádřením z průměrné hodnoty $F_{\max}$ (viz popis str. 51) může dojít k přetrhu vzorku dříve, než jsou realizovány všechny zátěžové stupně. V případě této situace byly i z ostatních měření daného typu vlákna vyřazeny poslední zátěžové cykly, důvodem je následné statistické zpracování. Graf na obr. 8.6 zobrazuje stupně elasticity na jednotlivých úrovních zatěžování, přičemž všech úrovní zatěžování dosáhla vlákna 33f12, 67f13 a 67f14. Z toho lze usuzovat, že současně používané vlákno PA6 67f12, které dosáhlo při všech 3 zkouškách 8 úrovní zatěžování, má nejnižší odolnost v opakovaném namáhání. Z obr. 8.6 je při porovnání stupně elasticity na 8 úrovni zatěžování vidět, že vlákna 33f12, 56f17 a 67f13 mají prakticky totožnou závislost celkové a elastické deformace. U současně používaného vlákna je pak vyšší deformace elastická. Nejvyššího stupně elasticity na 8 úrovni zatěžování dosahuje vlákno 67f14.



Obr. 8.6 Křivky stupňů elasticity zkoušených vláken.

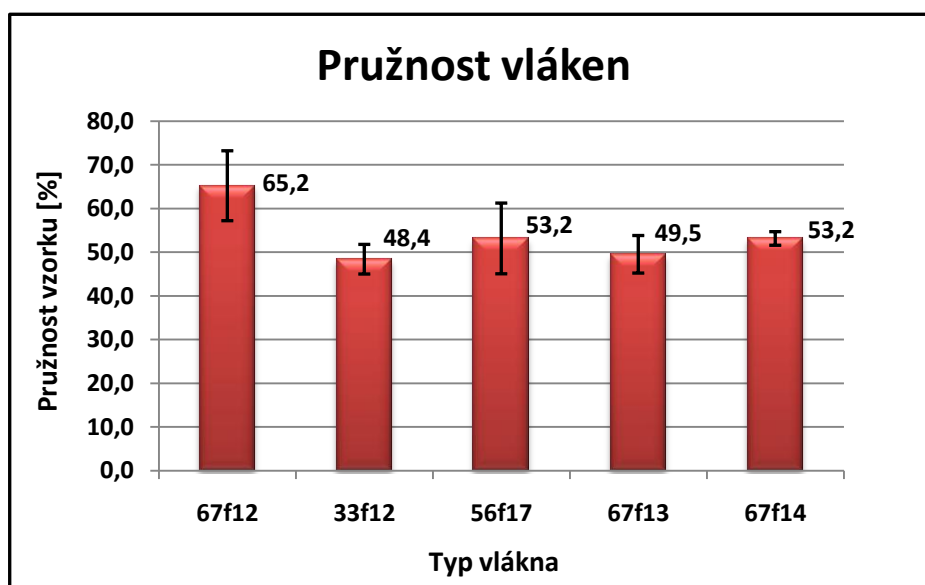
8.3.1 Porovnání závislosti sledovaných znaků pružnosti vláken

Statistické ověřování závislosti pružností jednotlivých typů vláken, jehož výsledky uvádí tab. 8.4, potvrdilo shodnou pružnost vláken 33f12, 56f17 a 67f13. Střední hodnota vlákna 67f14 odpovídá svou polohou pouze vláknu 56f17. Rozptýlení měření okolo střední hodnoty je shodné u všech testovaných vzorků vláken. Grafické vyjádření průměrných pružností s konfidenčními úsečkami testovaných vláken je na obrázku 8.7. Rozpětí konfidenčních úseček odpovídá 95% intervalu spolehlivosti. Z grafu je patrná nejvyšší pružnost u současně používaného vlákna 67f12.

Tab. 8.4 Porovnávání pružnosti dvou výběrů zkoušených vláken.

Parametr Kombinace *)	$\sigma_0 = \sigma_1$	$\mu_0 = \mu_1$	rozdělení
AB	shodné	rozdílné	rozdílná
AC	shodné	rozdílné	rozdílná
AD	shodné	rozdílné	rozdílná
AE	shodné	rozdílné	rozdílná
BC	shodné	shodné	shodná
BD	shodné	shodné	shodná
BE	shodné	rozdílné	rozdílná
CD	shodné	shodné	shodná
CE	shodné	shodné	shodná
DE	shodné	rozdílné	rozdílná

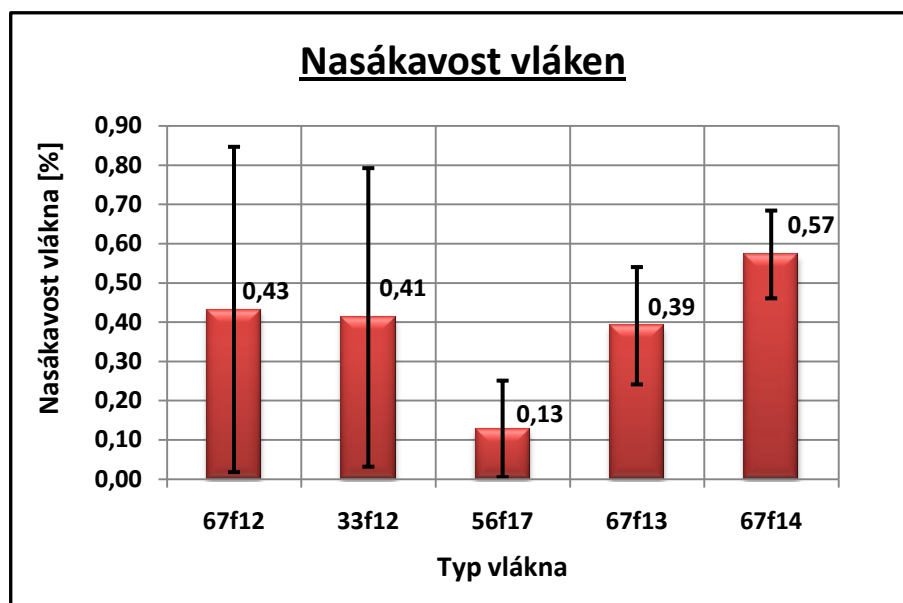
*) A = 67f12; B = 33f12; C = 56f17; D = 67f13; E = 67f14



Obr. 8.7 Stupeň elasticity zkoušených vláken.

8.4 NASÁKAVOST

Dle průměrných hodnot nasákavosti jednotlivých typů zkoušených vzorků, je z grafu na obr. 8.8 patrná shodná nasákavost vláken 67f12, 33f12 a 67f13. Velikost konfidenčních intervalů u vláken 67f12 a 33f12 však ukazuje velké rozptýlení naměřených hodnot. Bylo by proto vhodné, provést zkoušky nasákavosti na větším počtu vzorků jednotlivých vláken. Nejnižším průměrem hodnot nasákavosti se vyznačuje vlákno 56f17, nejvyšším pak vlákno 67f14.



Obr. 8.8 Graf nasákavosti vláken.

8.4.1 Porovnání závislosti sledovaných znaků nasákavosti vláken

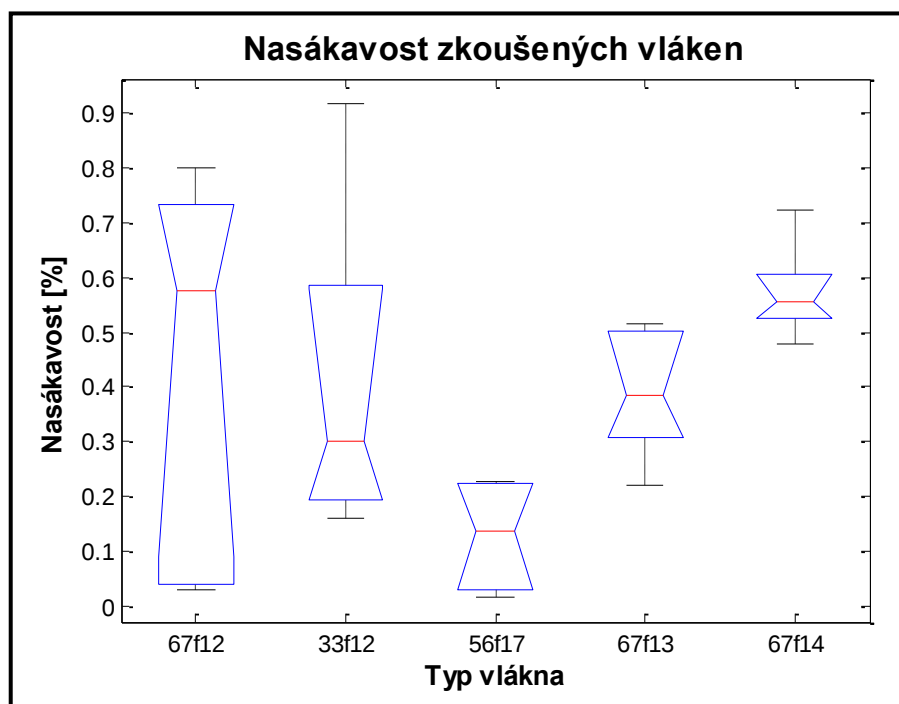
Jak již vyplývá z grafu na obr. 8.8, při statistickém ověřování závislostí, byla ověřena shoda středních hodnot i jejich rozptýlení u kombinace vláken AB (67f12, 33f12). U kombinací AC až BE jsou shodné polohy středních hodnot s rozdílným rozptylem naměřených dat. Střední hodnoty vláken C (56f17), D (67f13) a E (67f14) se od sebe vzájemně liší, shoda nastává pouze v rozsahu rozptylu. Z hlediska nasákavosti vlákna, jejíž hodnotu je žádoucí snížit, se jako nejvhodnější alternativa jeví vlákno 56f17, které má nejnižší nasákavost. Přehled výsledků statistického testování nasákavosti jednotlivých vláken je uveden v tabulce 8.5.

Tab. 8.5 Porovnávání nasákavosti dvou výběrů zkoušených vláken.

Parametr Kombinace *)	$\sigma_0 = \sigma_1$	$\mu_0 = \mu_1$	rozdělení
AB	shodné	shodné	shodná
AC	rozdílné	shodné	shodná
AD	rozdílné	shodné	shodná
AE	rozdílné	shodné	shodná
BC	rozdílné	shodné	shodná
BD	rozdílné	shodné	shodná
BE	rozdílné	shodné	shodná
CD	shodné	rozdílné	shodná
CE	shodné	rozdílné	rozdílná
DE	shodné	rozdílné	shodná

*) A = 67f12; B = 33f12; C = 56f17; D = 67f13; E = 67f14

Grafické vyjádření poloh středních hodnot náhodného výběru s rozptýlením dat, je vidět na obr 8.9.



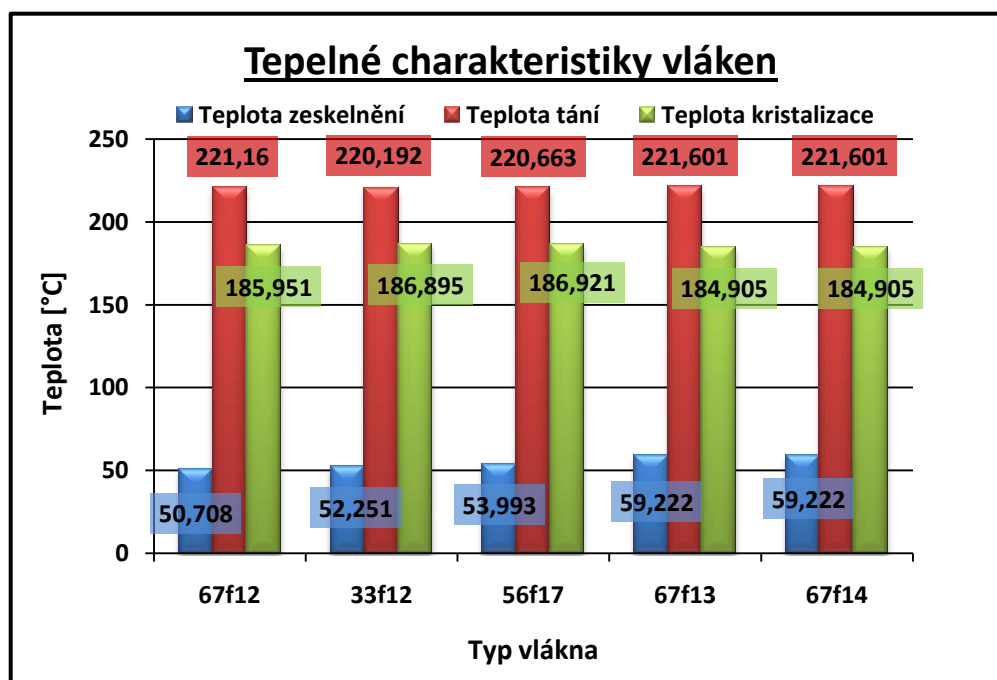
Obr. 8.9 Nasákavost zkoušených vláken.

8.5 DSC – TEPELNÉ CHARAKTERISTIKY

Vzhledem ke stejnému složení testovaných vláken (PA6), odpovídají zjištěné tepelné charakteristiky hodnotám uvedeným v literatuře [11], tj. teplota skelného přechodu T_g v rozmezí 40 ~ 60°C, teplota tání T_m 220°C a krystalizace vzorku v rozmezí 170 ~ 200°C. Konkrétní naměřené hodnoty jednotlivých vláken uvádí tab. 8.6 a graf na obr. 8.10.

Tab. 8.6 Tepelné charakteristiky zkoušených vláken.

Teplotní charakteristika	PA6 67f12	PA6 33f12	PA6 56f17	PA6 67f13	PA6 67f14
T_g [°C]	50,708	52,251	53,993	59,222	59,222
T_m [°C]	221,16	220,192	220,663	221,601	221,601
Krystalizace [°C]	185,951	186,895	186,921	184,905	184,905



Obr. 8.10 Tepelné charakteristiky zkoušených vláken.

8.6 RASTROVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE

Z vyobrazení struktur vláken na REM je patrná značná strukturální odlišnost vláken, která je sice popsána už v označení vlákna (jemnost), avšak pod mikroskopem jsou patrné další znaky, jako např. mikroválka u nitě **PA6 67f13** a různý tvar částic na povrchu vláken.

9. PŘEHLED DOSAVADNÍCH VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ V GALA a.s

Během testování možných vlákenných alternativ v této diplomové práci, prováděla společnost Gala a.s. vlastní srovnávací testy vhodných náhrad, přímo ve výrobě volejbalových míčů. Předmětem srovnávání byla vlákna polyamidová s kruhovým průřezem, o různých jemnostech a počtech filamentů:

PA 6 FDY 72f17 SD RD IN: prověřené vlákno o jemnosti 72 dtex a 17 filamentech

PA 6 FDY 56f17 SD RD IN: prověřené vlákno o jemnosti 56 dtex a 17 filamentech

PA 6 FDY 33f12 SD RD IN: prověřené vlákno o jemnosti 33 dtex a 12 filamentech

Tabulka 9.1 uvádí hodnoty měřených vlastností jednotlivých vláken, vyjádřené procentem z parametrů standardu (míčů s vláknem PA 6 67f12). Váhová kategorie vzdušnic je 80 – 90 g. Měření bylo prováděno na polotovarech míče před nalepením vrchových panelů, tedy po operaci namáčení vzdušnice v lepidle a vyznačení drážek.

Tab. 9.1 Srovnání parametrů nově testovaných vláken se standardem.

PARAMETR	PA 6 67f12	PA 6 72f17	PA 6 56f17
Hmotnost [%]	100	+ 11,33	+ 3,87
Rázová síla [%]	100	+ 10,31	+ 1,78
Odskok míče [%]	100	- 2,88	- 0,27

Z uvedeného přehledu v tabulce 9.1 je provedeno srovnání dvou druhů materiálů vzhledem k PA 6 67f12. Vlastnosti tohoto vlákna byly zvoleny jako výchozí (100%) a k těmto vlastnostem byly vyjádřeny odchylky vláken **PA 6 72f17**, **PA 6 56f17**. Z tabulky 9.1 je patrné zhoršení všech sledovaných parametrů, kdy se v obou případech zvýší hmotnost a rázová síla míčů, za současného snížení výšky odskoku. Vlákno 33f12 nebylo do srovnání v tabulce 9.1 zařazeno z toho důvodu, že vzhledem k jeho jemnosti (33 dtex) musela být použita váhová kategorie vzdušnic 110 – 120 g, proto nelze výsledky měření porovnávat. Z měření však vyplývá možnost použití vlákna PA 6 33f12 pouze pro tzv. odlehčené míče.

V současné době se společností Gala a.s, podařilo nalézt výrobce stejného vlákna, jako bylo používáno doposud (PA6 67f12). Při experimentálních zkouškách ve

výrobě, dosahovaly parametry míčů srovnatelných výsledků, jako u dříve používaného vlákna slovenské společnosti Chemlon Humenné.

9.1 REGULACE PARAMETRŮ MÍČE POMOCÍ SMÁČEDLA TEXAFOB LJ 100

Snahou případné modifikace výroby, je snížení rázové síly. Pokud by návin vláken při operaci máčení polotovaru v lepidle nasákl menší množství lepidla, předpokládá se snížení výsledné rázové síly a zvýšení odskoku míče. Na vzdušnici ovinutou vlákny bylo tedy před operací máčení v lepidle, naneseo smáčedlo Texafob LJ 100. Toto smáčedlo s aktivní složkou fluorkarbonu se používá pro permanentní hydrofobní a oleofobní úpravy syntetických a směsových materiálů.

Testy byly provedeny na vlákně PA 6 56f17. Váhová kategorie vzdušnic byla 110 – 120g. Tabulka 9.2 uvádí hodnoty před a po použití smáčedla pro vlákna 56f17 a jejich porovnání se standardem. Proměnnou veličinou je doba vystavení polotovaru smáčedlu Texafob. Hodnoty parametrů byly měřeny před nalepením vrchových panelů.

Tab. 9.2 Srovnání parametrů míčů, při použití smáčedla Texafob.

Vlákno	Čas máčení Texafob [s]	Hmotnost sušiny*) [g]	Rázová síla [%]	Odskok [%]
67f12	0	42	100	100
56f17	0	29	+ 11	- 1
56f17	5	22	+ 7	- 3
56f17	10	19	+ 4	- 1

*) rozdíl hodnot hmotností polotovaru před a po namáčení v lepidle

Měření hodnot parametrů bez smáčedla, s použitím vláken 56f17 ukázalo, zvýšení rázové síly o 11% a snížení odskoku o 1% vzhledem k hodnotám standardu. Při použití smáčedla se rázová síla snížila, za současného snížení hmotnosti polotovaru, což tento parametr negativně ovlivňuje. Aby byla dodržena hmotnost míče, muselo by se lepidlo z polotovaru méně odstředovat, parametr hmotnosti míče by tak zůstal v rozmezí předepsaného rozsahu. Při použití smáčedla také dochází k mírnému snížení odskoku míče.

10. TEORETICKÁ VÝCHODISKA ŘEŠENÉHO PROBLÉMU

10.1 NÁVRH VLÁKENNÉ ALTERNATIVY

Z výsledků naměřených zkoušek lze charakterizovat chování současně používaného vlákna a vztah jeho vlastností k ostatním testovaným vláknům. Přehled vybraných charakteristik zkoušených vláken je uveden v tabulce 10.1.

Tab. 10.1 Přehled výsledných hodnot zkoušených vláken.

PARAMETR	f [cN/dtex]	A [%]	Nasákavost (navlhavost) [%]	Tg [°C]	Tm [°C]
PA6 6f12	3,7	17,63	0,43	50,708	221,16
PA6 33f12	2,5	12,46	0,41	52,25	220,192
PA6 56f17	2,5	12,28	0,13	53,993	220,663
PA6 67f13	2,7	16,18	0,39	59,222	221,601
PA6 67f14	2,8	15,55	0,57	59,222	221,601

Při zkouškách pevnosti v tahu dosáhlo nejvyšší průměrné pevnosti vlákno 67f12 (vlákno současně používané), kdy hodnota průměrné pevnosti byla 2,5 N. Řádově nižších pevností pak dosáhla vlákna o stejné jemnosti, tedy 67f13 a 14. Tabulka 10.1 uvádí dle vtahu (7.1) hodnotu průměrných pevností vztahenou na jemnost vlákna, tedy tzv. relativní sílu.

Také u zkoušek cyklického namáhání byly výsledné hodnoty protažení vlákna 67f12 odlišné od hodnot alternativních vláken. Ze všech testovaných možností má vlákno 67f12 na horní i dolní mezi zatěžování nejnižší hodnotu protažení, z čehož lze také usoudit vyšší elastickou deformaci (pružnost), než u zbylých vláken. Vzhledem ke způsobu manipulace s vláknem při výrobě míče, není nutné při výběru alternativy klást důraz na protažení vláken při opakovaném namáhání.

Jak již bylo řečeno, zkoušky pružnosti ověřily předpoklad nejvyšší pružnosti vlákna 67f12. Vzhledem k nižší pružnosti ostatních vláken se očekává, že při jejich použití ve výrobě míčů by docházelo k nežádoucímu zvyšování rázové síly.

Z hlediska nasákavosti, jejíž hodnotu je třeba vzhledem k současně používanému vláknům snížit, se jako nejvhodnější alternativa jeví vlákno 56f17. Experimentálním ověřením ve výrobě míčů se však ukázala tato alternativa jako nevhodná (viz kap. 9). Nejvyšší nasákavost má pak vlákno 67f14.

Z vláken testovaných v experimentální části vycházejí jako nejpříjemnější vlastnosti vláken stejné jemnosti, jako má vlákno současně používané, tedy 6,7 dtex.

Z alternativních vláken testovaných v této diplomové práci, by bylo vhodné ověřit přímo ve výrobě vliv vlastností vláken 67f13 a 67f14 na výsledné parametry míče. Z výsledků experimentu však vyplývá, že současně používané vlákno nemá mezi testovanými alternativami ideální náhradu.

10.1.1 Složení alternativní náhrady vlákna

Při hledání vhodné náhrady byl proveden průzkum možných alternativ i mezi vlákny odlišného složení. Tabulka 10.2 uvádí hodnoty vlastností vláken různého složení v porovnání se současně používaným vláknem PA6 67f12.

Tab. 10.2 Parametry alternativních vláken.

PARAMETR	f [cN/dtex]	A [%]	Nasákavost (navlhavost) [%]	Tg [°C]	Tm [°C]
PA6 67f12	3,7	17,63	0,43	50,708	221,16
PA6	3,6 - 6,8	23 - 55	4,5	40 - 60	220
PA6.6	3,6 - 6,3	18 - 25	3,8	45 - 65	256
PES	4,1 - 5,1	50 - 70	0,3 - 0,4	77 - 80	258
PP	3,2 - 7,2	15 - 50	0,05	-(10 - 0)	165
EL	0,5 - 1,2	400 - 700	> 2%	-	-
PAN	1,3 - 3,2	20 - 30	0,9 - 2	60	235

Na výsledné hodnoty vlastností multifilu má vliv množství filamentů, ze kterých se výsledný multifil skládá, modifikace výroby a jemnost vlákna. Také v rámci jednotlivých výrobců jednoho typu vlákna mohou číselné charakteristiky vlastností dosahovat rozdílných hodnot. Z toho důvodu, není možné uvádět hodnoty parametrů jednotlivých vláken jedinou hodnotou, ani srovnávat parametry vláken stejných jemností a počtů filamentů. Tabulka 10.2 tedy uvádí intervaly, ve kterých se hodnoty vlastností daného typu vlákna nacházejí.

Na základě uvedeného přehledu v tabulce 10.2, je tedy možné k experimentálnímu ověření ve výrobě míčů doporučit vlákna polyamidu 6.6, která se

vyznačují vyšší pevností, než vlákna PA 6 (rozdíl pevností je však minimální). PA 6.6 má také nižší nasákavost a téměř srovnatelné tepelné charakteristiky. Negativní vliv na rázovou sílu by mohla mít nižší tažnost, která je dána vyšší pevností vláken PA 6.6. Další možností jsou pak vlákna polyesterová. Jsou mnohem pevnější než vlákna PA 6, mají vyšší tažnost a nižší nasákavost.

Snížení nasákavosti je žádoucí vzhledem k jejímu vztahu k rázové síle. Nejnížší nasákavost mají vlákna polypropylénová. Tato vlákna však nelze do výroby doporučit z hlediska nízké schopnosti zotavení po deformaci. Z výsledků analýzy také vyplývá nevhodnost vláken polyuretanových (EL) a polyakrylonitrilových (PAN), z důvodu nedostatečné pevnosti. Uvedená vlákna se doporučuje testovat v jemnostech okolo 67 dtex.

Pro výběr nejvhodnější alternativy současně používaného vlákna, by bylo vhodné přiřadit jednotlivým kritériím kladeným na vlákno jejich tzv. užitnou hodnotu – váhu. Váhy jednotlivých vlastností w_i by definovaly jejich význam, tedy důležitost dané vlastnosti a její přednost před ostatními parametry při výběru alternativní náhrady. Na základě správně stanovených vah, by bylo dle provedených měření vybráno nejvhodnější vlákno. *

** Př.: Přestože parametr nasákavosti vlákna udává množství latexu zadržného vláknem a nepříznivě tak ovlivňuje velikost rázové síly, přiřadí se tomuto parametru nejnížší hodnota váhy. Nasákavost zvoleného vlákna se pak bude snižovat postupy popsány v kapitole 10.2.*

10.2 VARIANTY ŘEŠENÍ SPOJOVÁNÍ VLÁKEN NA POVRCHU VZDUŠNICE

Při hledání alternativního řešení spojování vláken na povrchu vzdušnice byly zohledněny následující podmínky:

1. **Cena** – alternativní řešení nesmí převyšovat cenou současný způsob výroby. Znamená to hledání levnějšího, popř. stejně drahého materiálu a minimální zásah do současné technologie.

2. **Pevnost** – navržená alternativa musí vykazovat dostatečnou pevnost vláken, popř. vyšší, aby byly zajištěny další kvalitativní parametry míčů.
3. **Rázová síla** – míče s použitím alternativní náhrady vláken musí zajišťovat hodnoty rázové síly tak, aby odpovídala současné homologaci míčů.
4. **Odskok** – parametr odskoku musí rovněž hodnoty odpovídající homologaci míče

V současné době je používána technologie upevňování vláken prostřednictvím latexu. Jako alternativy jsou navrhovány tyto technologie:

Chemické spojování vláken na povrchu vzdušnice

- *Bobtnání vláken.*

Základní myšlenkou je použití těkavých bobtnadel (dle druhu složení vlákna), která by způsobila změknutí povrchu vláken tak, že by se na povrchu vzdušnice spojila a po odpaření bobtnadla by byla zajištěna soudržnost vláken. Bobtnadlo musí působit velmi rychle, protože k navinutí vlákna na 1 vzdušnici je potřeba jen 196 s.

Termopojivá vlákna

- *Navíjení nosného vlákna spolu s termopojivým vláknem a následná tepelná úprava.*

Tato technologie, by zajišťovala spojení vláken mezi sebou na povrchu vzdušnice prostřednictvím taveniny z termopojivého vlákna. K tavení termopojivého vlákna by docházelo před navinutím na vzdušnici. Jako vhodné termopojivé vlákno se jeví polyetylén, který má teplotu tání 120 °C, takže také následná termická úprava vzdušnice by upevnila navinutá vlákna k sobě. Z hlediska cenového by bylo potřebné provést průzkum dodavatelů a cen PE vláken, což není obsaženo v tématu této práce.

- *Bikomponentní vlákno a následná tepelná úprava.*

Bikomponentní vlákna obsahují dva polymery, z nichž na povrchu je polymer s nízkou teplotou tání a uvnitř je polymer s vyšší teplotou tání, který je zároveň pevnější – tzv. nosný (bikomponentní vlákna core/sheath). Výhodou tohoto řešení vzhledem k předešlému návrhu je to, že by nebylo nutné používat dva druhy vláken při ovíjení vzdušnice.

ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce bylo nalezení alternativní náhrady současně používaného vlákna PA6 67f12 SD RD CPS ve výrobě volejbalových míčů. Dalším cílem byl návrh možných modifikací výroby, za účelem regulace vybraných parametrů hotového míče (odstranění latexu z výrobního procesu – snížení rázové síly, zvýšení odskoku).

Práce se v teoretické části zabývala analýzou výrobního procesu volejbalových míčů a nároků na jednotlivé složky míče. Výsledkem této analýzy byla definice požadavků kladených na vlastnosti alternativní náhrady vlákna a vliv těchto vlastností na výsledné parametry míče. Alternativní vlákna byla společně s dosud používaným vláknem PA6 67f12 podrobena zkouškám mechanických a fyzikálních vlastností a obrazové analýze. Jednalo se o zkoušky pevnosti v tahu, cyklického namáhání, pružnosti vláken, míry nasákavosti, tepelných charakteristik a obrazové dokumentace. Popisem průběhu zkoušek a jejich vyhodnocením, se zabývala praktická část práce.

Z výsledků zkoušek vyplynulo, že standardně používané vlákno PA6 67f12 má ze všech testovaných vláken nejvyšší pevnost a pružnost, nejnižší protažení při opakovaném namáhání a nejvyšší míru nasákavosti. Na základě těchto výsledků a poznatků získaných v teoretické části byly formulovány návrhy a doporučení pro společnost Gala a.s.

Přestože alternativní vlákna 67f13 a 67f14 dosahují nižších hodnot pevnosti a pružnosti, vycházejí jejich charakteristiky ze všech testovaných vláken jako nejvhodnější a lze je doporučit k experimentálnímu ověření přímo ve výrobě míčů. Z výsledků experimentu však vyplývá, že současně používané vlákno nemá mezi testovanými alternativami ideální náhradu.

Při hledání alternativní náhrady mezi vlákny odlišného složení, mohou být využita vlákna PA 6.6, která se vyznačují vyšší pevností a tažností. Význam vlivu nižší tažnosti je nutné ověřit výrobou zkušební série míčů s použitím tohoto vlákna. Nejlepším teoretickým předpokladem pro výrobu míčů mají však vlákna polyesterová, která mají vyšší pevnost, tažnost a nižší nasákavost.

Vzhledem k vysoké spotřebě vlákenného materiálu a nevyhovující přesnosti zkoušek nasákavosti vláken, se doporučuje společnosti Gala a.s. opětovné provedení

zkoušek nasákavosti, dle popisu na straně 51. Měření je však třeba provést na větším počtu vzorků jednotlivých vláken za současného použití většího množství návinnu na nosném rámečku. Dále by bylo vhodné přiřadit (dle popisu na str. 87) jednotlivým kritériím kladeným na vlákno jejich váhu, což by umožnilo výběr nejvhodnější vlákenné alternativy.

Diplomová práce splnila všechny zadané cíle v jejich plné šíři. Dále je možné, aby na tuto diplomovou práci navázali další řešitelé, jejichž práce by spočívala v definování vlivu různých jemností jednotlivých vláken a počtů filamentů na výsledné parametry míče.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DOSEDĚLOVÁ, I.: přednášky předmětu: *Technologie oděvní výroby*. Prostějov: KKV.
- [2] MILITKÝ, J., TOMKOVÁ, B.: *Metrologie*. Učební text: TUL. Liberec.
- [3] *ABZ.cz: slovník cizích slov* [online]. 2005 [cit. 2011-01-19]. Homologace. Dostupné z WWW: <<http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/homologace>>.
- [4] VÁCLAVÍK, O.: *Od minulosti k dnešku*. Výroční zpráva Gala Krasice. Prostějov 2009.
- [5] *Gala* [online]. 2005 [cit. 2011-01-14]. Sortiment. Dostupné z WWW: <<http://www.gala.cz/volleyball.php#>>.
- [6] *Český normalizační institut: ČSN ISO 80 0831: Savost plošných textilií – stanovení nasákavosti*. Praha: s. p. Print Brno, 1992.
- [7] KOVAČIČ, V.: *Textilní zkušebnictví, díl I. a II.* Liberec: TUL, 2002. 83, 74 s.
- [8] *Český normalizační institut: ČSN ISO 80 0073: Pojmy používané při zkoušení textilií tahem*. Praha: s. p. Print Brno, 1991.
- [9] KUBÍČKOVÁ, M., STANĚK, J.: *Oděvní materiály*. Liberec: Vysoká škola strojní v Liberci, 1986. 179 s.
- [10] MILITKÝ, J.: *Textilní vlákna a speciální textilní vlákna*. Učební text: TUL. Liberec 2005. 238 s.
- [11] BOBETH, W.: *Textile Faserstoffe*. Berlín: Springer-Verlag, 1993. 431 s.
- [12] *Textilní výkladový slovník* [online]. 2008 [cit. 2011-05-02]. TEXSITE.info. Dostupné z WWW: <http://cz.texsite.info/Rejst%C5%99%C3%ADk_hesel/?l=P>.
- [13] *Škola textilu* [online]. [cit. 2011-02-26]. Chemická vlákna. Dostupné z WWW: <<http://www.skolatextilu.cz/vlakna/index.php?page=11>>.
- [14] BRICHTOVÁ, L.: *Matematika 2 díl*. Prostějov: skripta KKV, 2008. 86 s.

- [15] TOŠENOVSKÝ, J., NOSKIEVIČOVÁ, D.: *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000. 362 s.
- [16] KOHOUT, V.: Statistika. Učební text: ZUP – KMF. Plzeň. [online]. Dostupné z WWW: <http://www.kmt.zcu.cz/person/Kohout/info_soubory/letnisem/SS/>.
- [17] MELOUN, M., MILITKÝ, J.: *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: Academia, 2002. 764 s.
- [18] SAVILLE, B., P.: *Physical testing of textiles*. England: Woodhead Publishing Ltd, 1999. 314 s.
- [19] *Ústav počítačové a řídicí techniky* [online]. [cit. 2011-03-19]. Matlab. Dostupné z WWW: <<http://uprt.vscht.cz/majerova/matlab/index.html>>.
- [20] VANÍČEK, J.: *Metody termické analýzy*. Učební text: TUL - KTM. Liberec. 2008
- [21] VEGA TS 5130: *Technický popis a návod k obsluze*. Brno: Tescan s.r.o.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Volejbalový míč 10 - panelový [5].....	16
Obr. 3.2 Schéma výroby volejbalového míče.	19
Obr. 3.3 Náskres reflexní plochy a testu životnosti.....	19
Obr. 3.4 Vzdušnice ovinutá vláknem a detail struktury.....	20
Obr. 4.1 Náskres přístroje měření rázové síly.	22
Obr. 5.1 Strukturní jednotka PA6[11].....	26
Obr. 5.2 Strukturní jednotka PA 6.6 [11].....	26
Obr. 5.3 Strukturní vzorec PES vlákna – polyetyléntereftalát [11].	28
Obr. 5.4 Strukturní vzorec polypropylénu (PP) [11].	29
Obr. 5.5 Strukturní vzorec polyuretanu (EL) [11].	31
Obr. 5.6 Strukturní vzorec polyakrylonitrilu (PAN) [11].	32
Obr. 6.1 Hustota pravděpodobnosti normálního rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ [15].....	33
Obr. 6.2 Pravděpodobnost chyby 1. a 2. druhu.....	39
Obr. 6.3 Ilustrace vrubového krabicového grafu.	42
Obr. 7.1 Deformační křivka [7].	45
Obr. 7.2 Cyklické namáhání vlákna [7].	46
Obr. 7.3 Rozbor pracovní křivky cyklického namáhání.	47
Obr. 7.4 Namáhání vzorku při zkoušce pružnosti [8].....	48
Obr. 7.5 Rozbor křivek trhacího zařízení [7].....	49
Obr. 7.6 Vyjádření stupně elasticity vzorku [8].....	50
Obr. 7.7 Ukázka pracovní křivky vlákna 67f12.....	52
Obr. 7.8 Typická křivka DSC [20].....	53
Obr. 7.9 Průměrná pracovní křivka vlákna PA6 67f12 s konfidenčními intervaly.	55
Obr. 7.10 Ilustrace cyklického namáhání vlákna PA6 67f12.	56
Obr. 7.11 Průměrná křivka stupně elasticity vlákna PA6 67f12.....	57
Obr. 7.12 Podélný a příčný pohled vlákna PA6 67f12 - 2000 násobné zvětšení.....	59
Obr. 7.13 Průměrná pracovní křivka vlákna PA6 33f12 s konfidenčními intervaly.	60
Obr. 7.14 Podélný a příčný pohled vlákna PA6 33f12 - 2000 násobné zvětšení.....	62
Obr. 7.15 Průměrná pracovní křivka vlákna PA6 56f17 s konfidenčními intervaly.	63
Obr. 7.16 Podélný a příčný pohled vlákna PA6 56f17 - 2000 násobné zvětšení.....	65
Obr. 7.17 Průměrná pracovní křivka vlákna PA6 67f13 s konfidenčními intervaly.	66

Obr. 7.18 Podélný (1000x) a příčný pohled (500x) vlákna PA6 67f13.	68
Obr. 7.19 Průměrná pracovní křivka vlákna PA6 67f14 skofidenčními intervaly.	69
Obr. 7.20 Podélný a příčný pohled vlákna PA6 67f14 – 2000 násobné zvětšení.	71
Obr. 8.1 Průměrné pracovní křivky zkoušených vláken.	72
Obr. 8.2 Průměrné pracovní křivky zkoušených vláken.	74
Obr. 8.3 Graf protažení vláken na horní a dolní mezi zatěžování.	75
Obr. 8.4 Graf protažení vláken při cyklickém namáhání – horní mez zatěžování.	76
Obr. 8.5 Graf protažení vláken při cyklickém namáhání – dolní mez zatěžování.	77
Obr. 8.6 Křivky stupňů elasticity zkoušených vláken.	78
Obr. 8.7 Stupeň elasticity zkoušených vláken.	79
Obr. 8.8 Graf nasákavosti vláken.	80
Obr. 8.9 Nasákavost zkoušených vláken.	81
Obr. 8.10 Tepelné charakteristiky zkoušených vláken.	82

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Přehled sportovních míčů a technologie výroby [5].	15
Tab. 3.2 Význam zkratk v označování vláken.	17
Tab. 3.3 Přehled parametrů vlákenného návínu.	20
Tab. 4.1 Přehled požadavků a standardů volejbalových míčů – dle FIVB.	21
Tab. 5.1 Přehled vlastností vláken PA 6 a PA 6.6 [10, 11].	27
Tab. 5.2 Přehled vlastností PES vláken [10, 11].	29
Tab. 5.3 Přehled vlastností PP vláken [10, 11].	30
Tab. 5.4 Přehled vlastností EL vláken [10, 11].	31
Tab. 5.5 Přehled vlastností PAN vláken [10, 11].	32
Tab. 7.1 Statistické zpracování zkoušek pevnosti v tahu PA6 67f12.	55
Tab. 7.2 Statistické zpracování zkoušek cyklického namáhání vlákna PA6 67f12.	56
Tab. 7.3 Průměrný stupeň elasticity vlákna 67f12.	57
Tab. 7.4 Statistické zpracování elasticity vlákna 67f12.	57
Tab. 7.5 Statistické zpracování nasákavosti vlákna PA6 67f12.	58
Tab. 7.6 Tepelné charakteristiky vlákna PA6 67f12.	58
Tab. 7.7 Statistické zpracování zkoušek pevnosti v tahu PA6 33f12.	59
Tab. 7.8 Statistické zpracování zkoušek cyklického namáhání vlákna PA6 33f12.	60
Tab. 7.9 Průměrný stupeň elasticity vlákna 33f12.	61
Tab. 7.10 Statistické zpracování elasticity vlákna 33f12.	61
Tab. 7.11 Statistické zpracování nasákavosti vlákna PA6 33f12.	61
Tab. 7.12 Tepelné charakteristiky vlákna PA6 33f12.	62
Tab. 7.13 Statistické zpracování zkoušek pevnosti v tahu PA6 56f17.	63
Tab. 7.14 Statistické zpracování zkoušek cyklického namáhání vlákna PA6 56f17.	64
Tab. 7.15 Průměrný stupeň elasticity vlákna 56f17.	64
Tab. 7.16 Statistické zpracování stupně elasticity vlákna 56f17.	64
Tab. 7.17 Statistické zpracování nasákavosti vlákna PA6 56f17.	65
Tab. 7.18 Tepelné charakteristiky vlákna PA6 56f17.	65
Tab. 7.19 Statistické zpracování zkoušek pevnosti v tahu PA6 67f13.	66
Tab. 7.20 Statistické zpracování zkoušek cyklického namáhání vlákna PA6 67f13.	67
Tab. 7.21 Průměrná stupeň elasticity vlákna 67f13.	67
Tab. 7.22 Statistické zpracování stupně elasticity vlákna 67f13.	67
Tab. 7.23 Statistické zpracování nasákavosti vlákna PA6 67f13.	68

Tab. 7.24	Tepelné charakteristiky vlákna PA6 67f13.....	68
Tab. 7.25	Statistické zpracování zkoušek pevnosti v tahu PA6 67f14.	69
Tab. 7.26	Statistické zpracování zkoušek cyklického namáhání vlákna PA6 67f14.	70
Tab. 7.27	Pružnost vlákna 67f14.....	70
Tab. 7.28	Statistické zpracování stupně elasticity vlákna 67f14.	70
Tab. 7.29	Statistické zpracování nasákavosti vlákna PA6 67f14.....	71
Tab. 7.30	Tepelné charakteristiky vlákna PA6 67f14.....	71
Tab. 8.1	Porovnávání pevnosti dvou výběrů zkoušených vláken.	74
Tab. 8.2	Porovnávání protažení dvou výběrů při cyklickém namáhání - horní mez.	76
Tab. 8.3	Porovnávání protažení dvou výběrů při cyklickém namáhání – dolní mez.....	77
Tab. 8.4	Porovnávání pružnosti dvou výběrů zkoušených vláken.	79
Tab. 8.5	Porovnávání nasákavosti dvou výběrů zkoušených vláken.	81
Tab. 8.6	Tepelné charakteristiky zkoušených vláken.	82
Tab. 9.1	Srovnání parametrů nově testovaných vláken se standardem.....	83
Tab. 9.2	Srovnání parametrů míčů, při použití smáčedla Texafob.	84
Tab. 10.1	Přehled výsledných hodnot zkoušených vláken.	85
Tab. 10.2	Parametry alternativních vláken.	86

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A

- Přehled označení textilních vláken [10]

PŘÍLOHA B

- Fotografie zařízení pro výrobu míčů

PŘÍLOHA C

- Grafické výstupy zkoušek vláken

PŘÍLOHA D (na CD)

- Výstupy zkoušek testovaných vláken

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA A

PŘEHLED OZNAČENÍ TEXTILNÍCH VLÁKEN [10]

Tab. A.1 Označování textilních vláken dle různých zdrojů [11].

Typ vlákna	DIN**)	ČSN*)	Název anglicky
vlněné	WO	vl	wool
přírodní hedvábí	SE	ph	silk natural
bavlněné	CO	ba	cotton
lněné	LI	ln	linen/flax
konopné	HA	ko	hemp
jutové	JU	ju	Jute
ramiové	RA	ra	ramie
alginátové	ALG	al	alginate
viskózové	CV	VS	viscose
akrylové	PAN	PAN	acrylic
teflonové	PTFE	–	fluorofibre
polyamidové	PA	PAD	polyamide (nylon)
aramidové	AR	–	aramid
polyesterové	PES	PES	polyester
polypropylenové	PP	POP	polypropylene
polyetylenové	PE	POE	polyethylen
polyuretanové	EL	PUR	elastane
skleněné	GL	–	glass fibre
kovové	MTF	ko	metal fibre

*) již neplatná norma **)návrh normy ISO

PŘÍLOHA B

FOTOGRAFIE ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU MÍČŮ



Obr. B.1 Navíjecí stroj.



Obr. B.2 Zásobník s latexem.

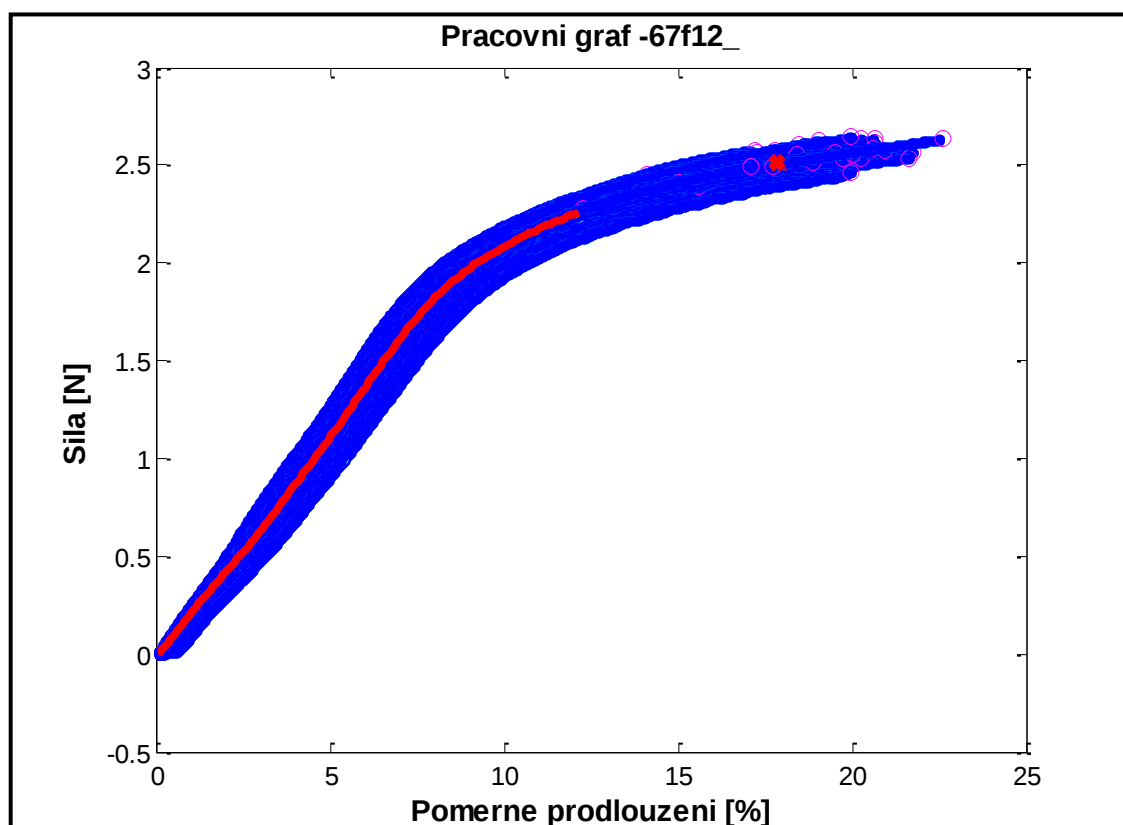


Obr. B.3 Měřič kulatosti – přiřazení jakostní třídy.

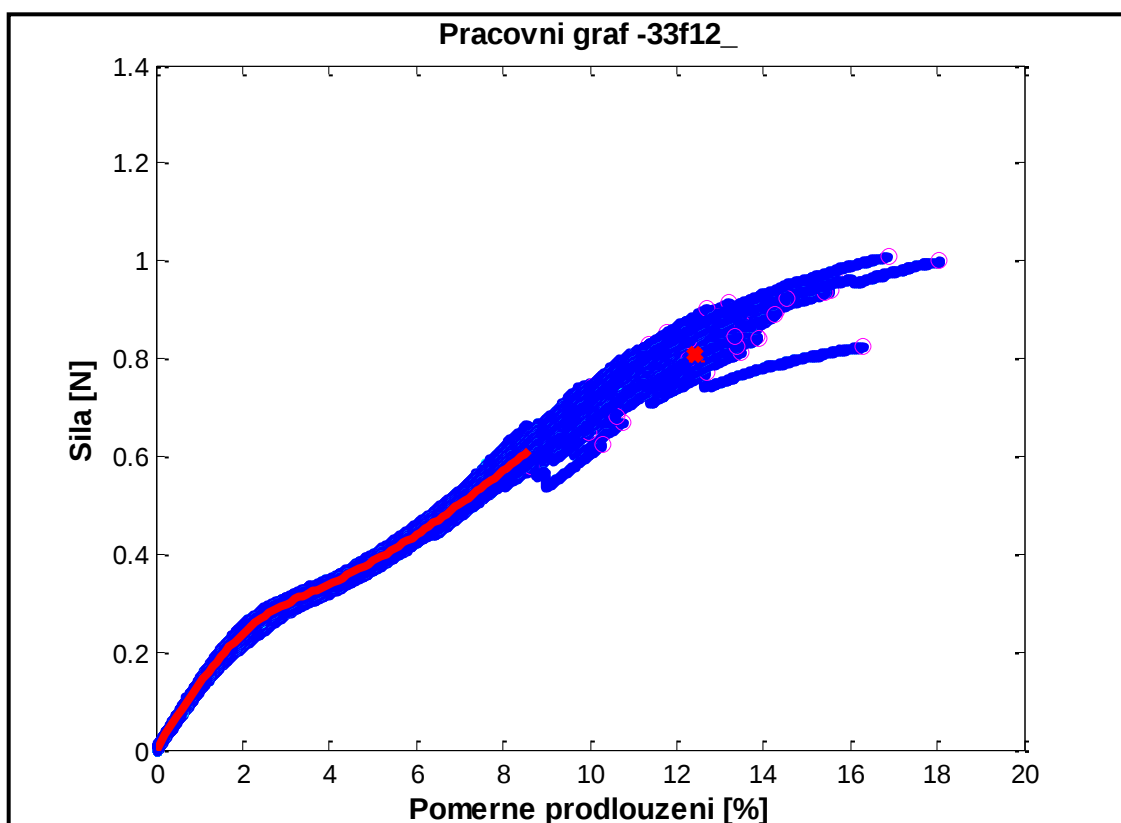
PŘÍLOHA C

GRAFICKÉ VÝSTUPY ZKOUŠEK VLÁKEN

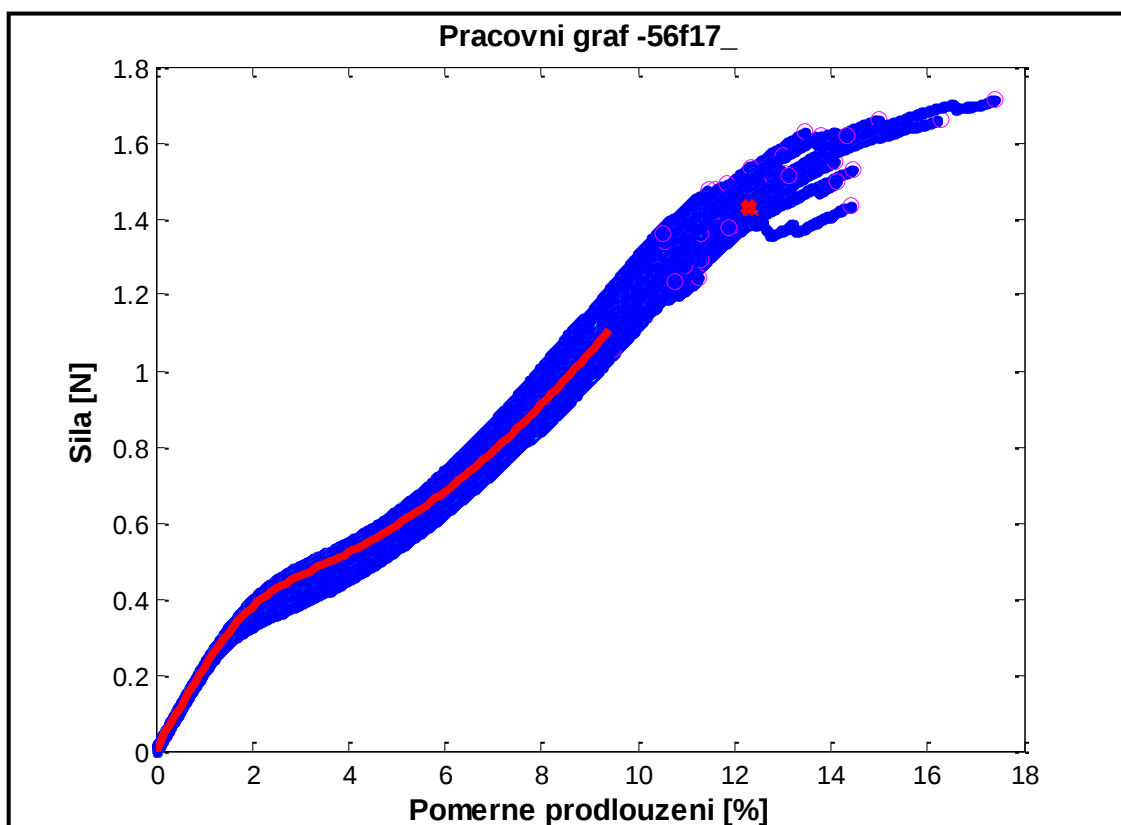
PEVNOST V TAHU



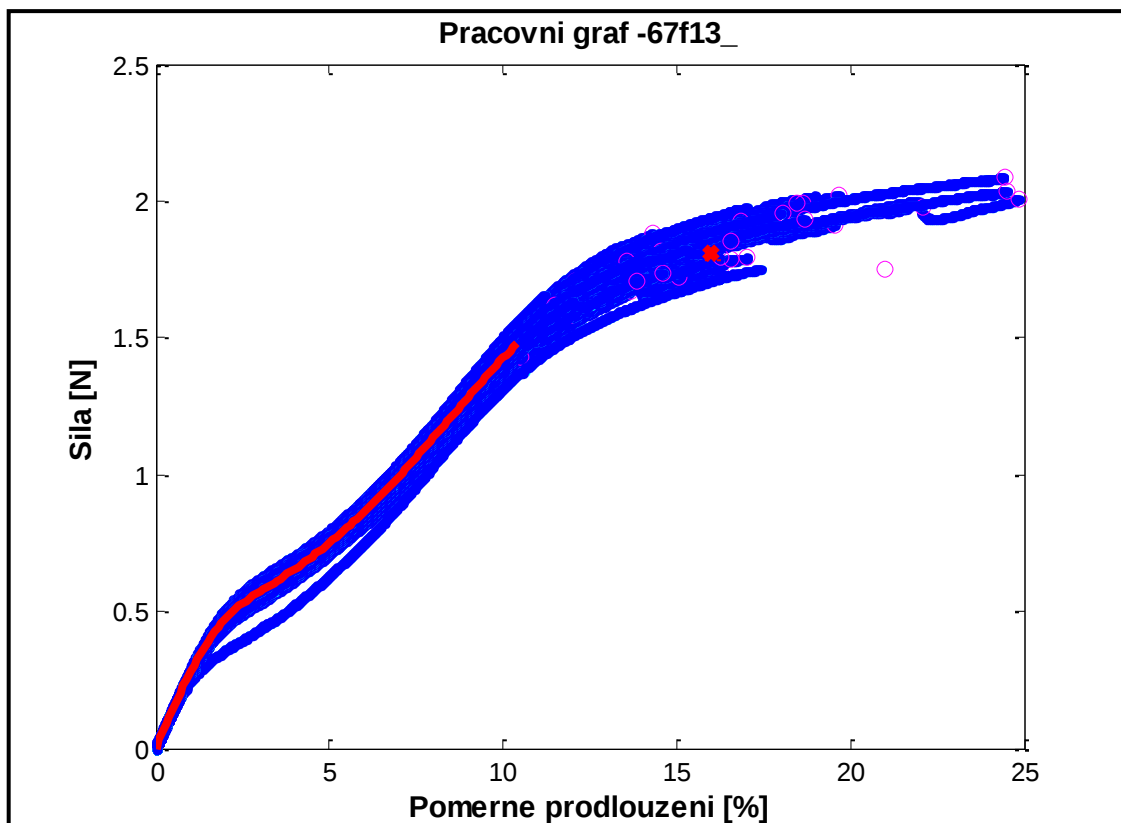
Obr. C.1 Pracovní křivky zkoušek pevnosti vlákna 67f12.



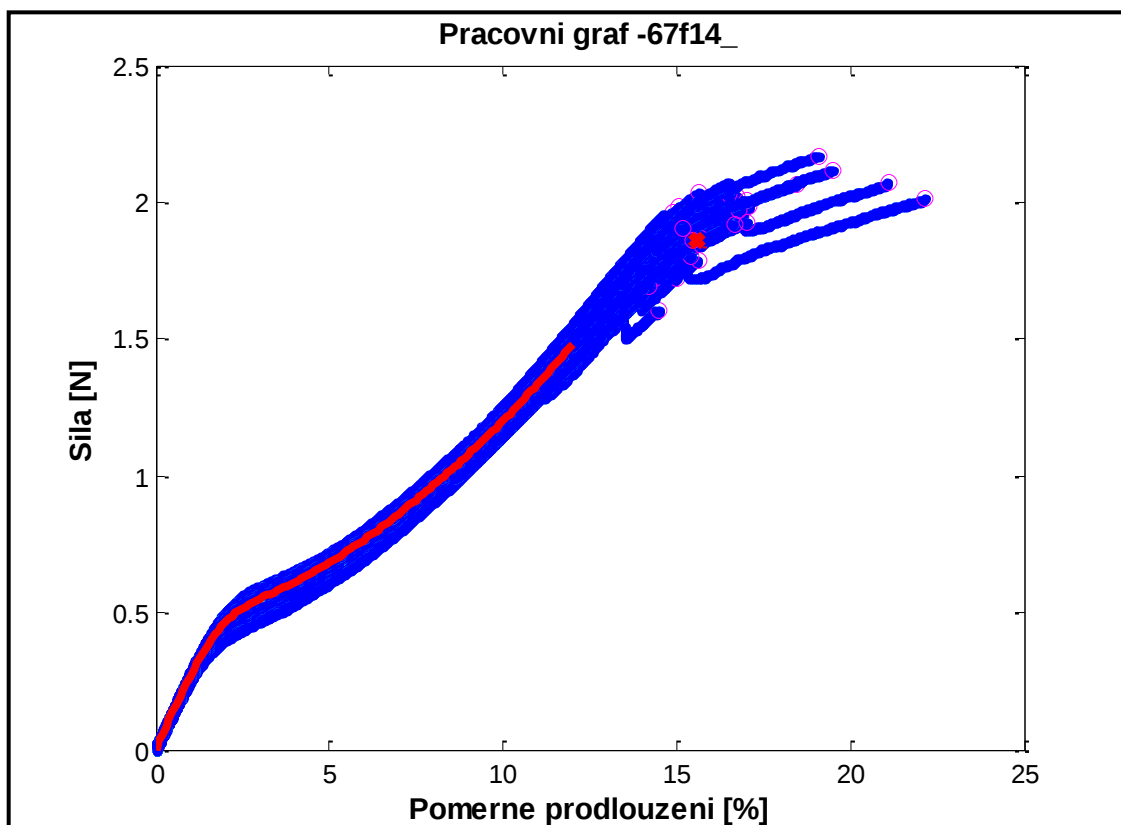
Obr. C.2 Pracovní křivky zkoušek pevnosti PA6 33f12.



Obr. C.3 Pracovní křivky zkoušek pevnosti PA6 56f17.

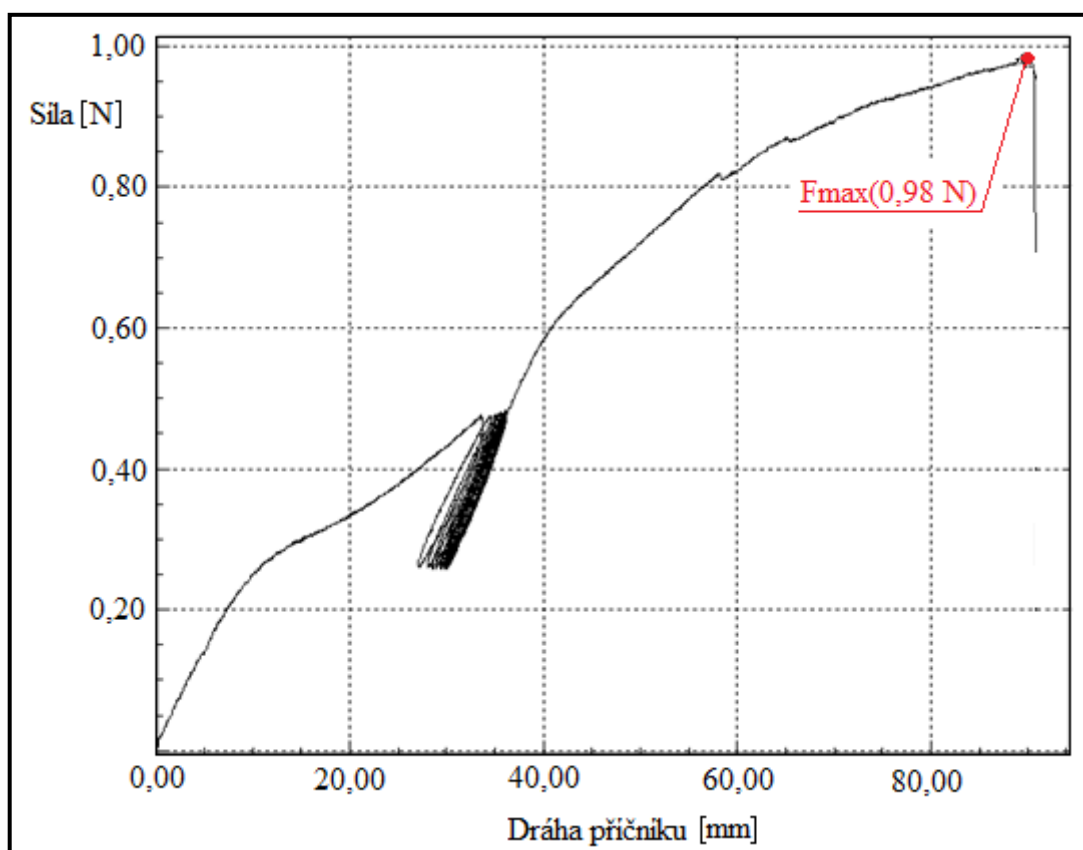


Obr. C.4 Pracovní křivky zkoušek pevnosti PA6 67f13.

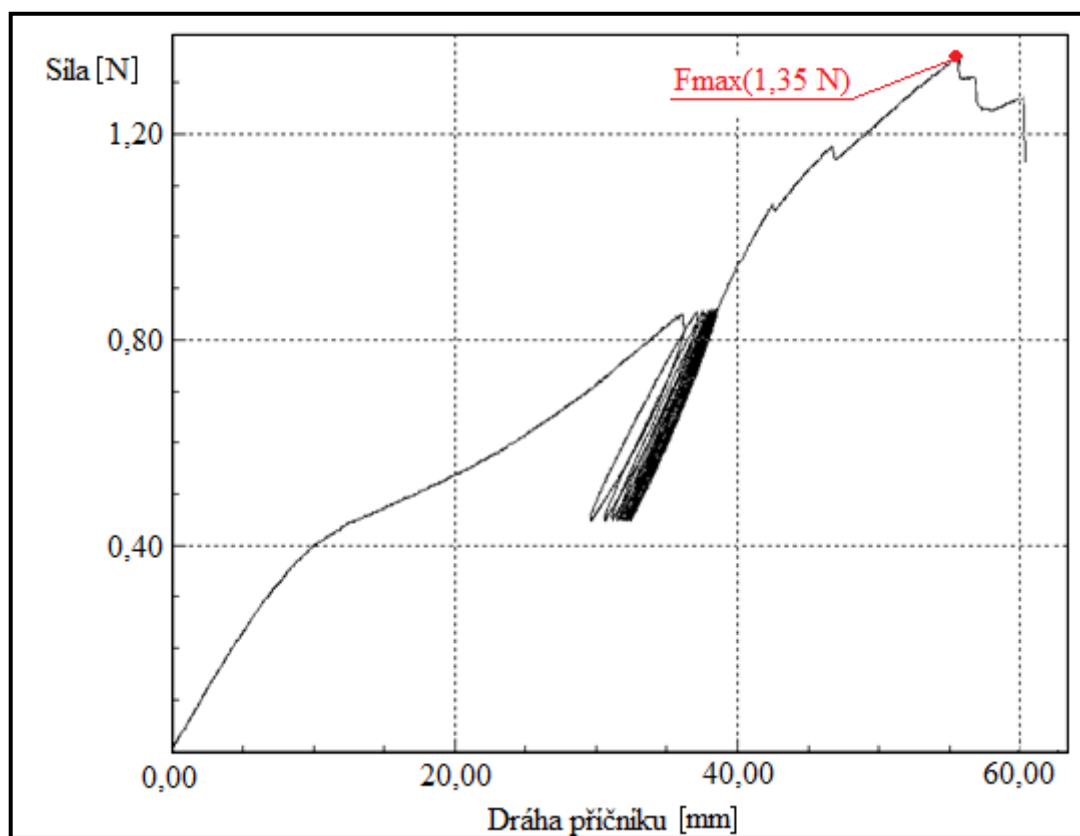


Obr. C.5 Pracovní křivky zkoušek pevnosti PA6 67f14.

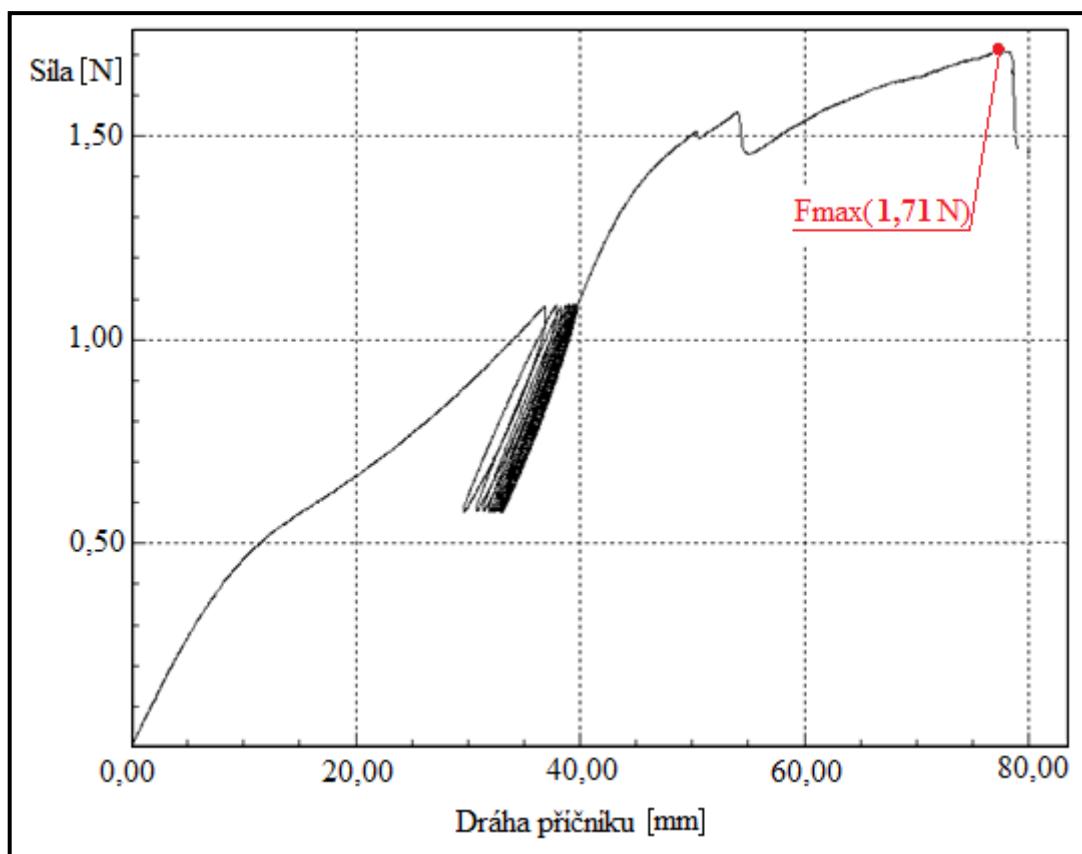
CYKICKÉ NAMÁHÁNÍ



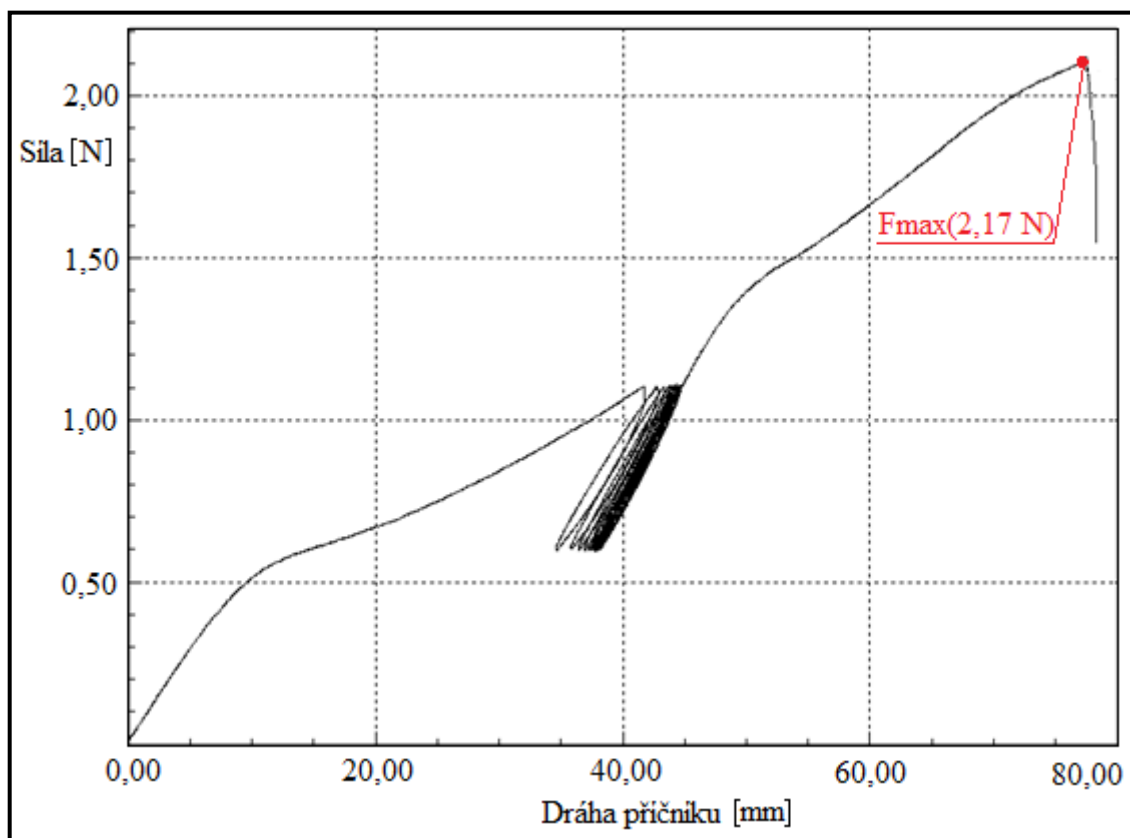
Obr. C.6 Pracovní křivka cyklického namáhání vlákna PA6 33f12.



Obr. C.7 Pracovní křivka cyklického namáhání vlákna PA6 56f17.

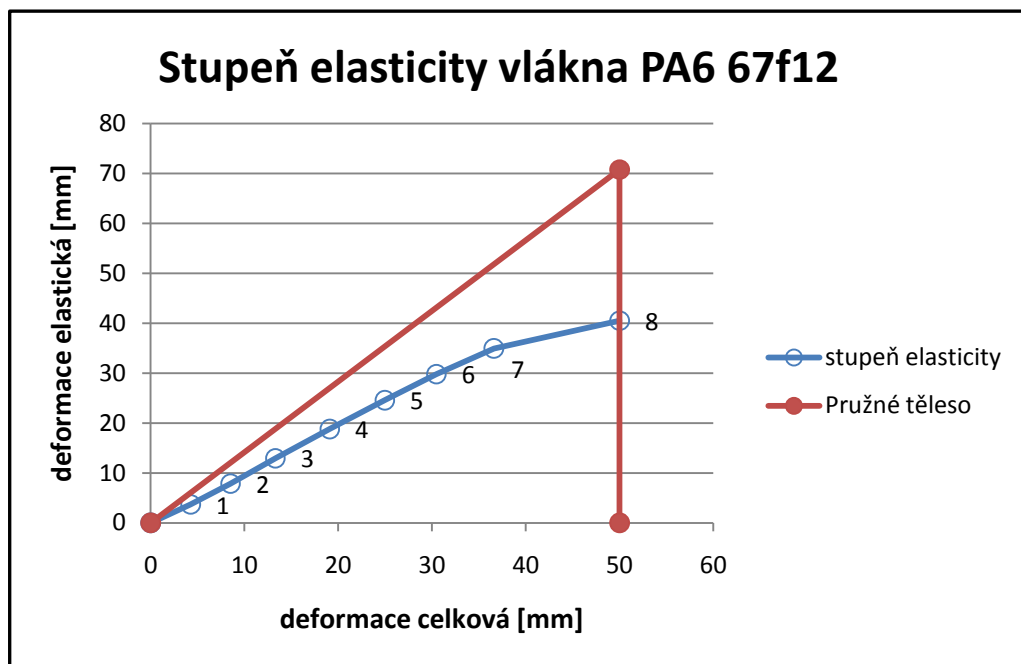


Obr. C.8 Pracovní křivka cyklického namáhání vlákna PA6 67f13.

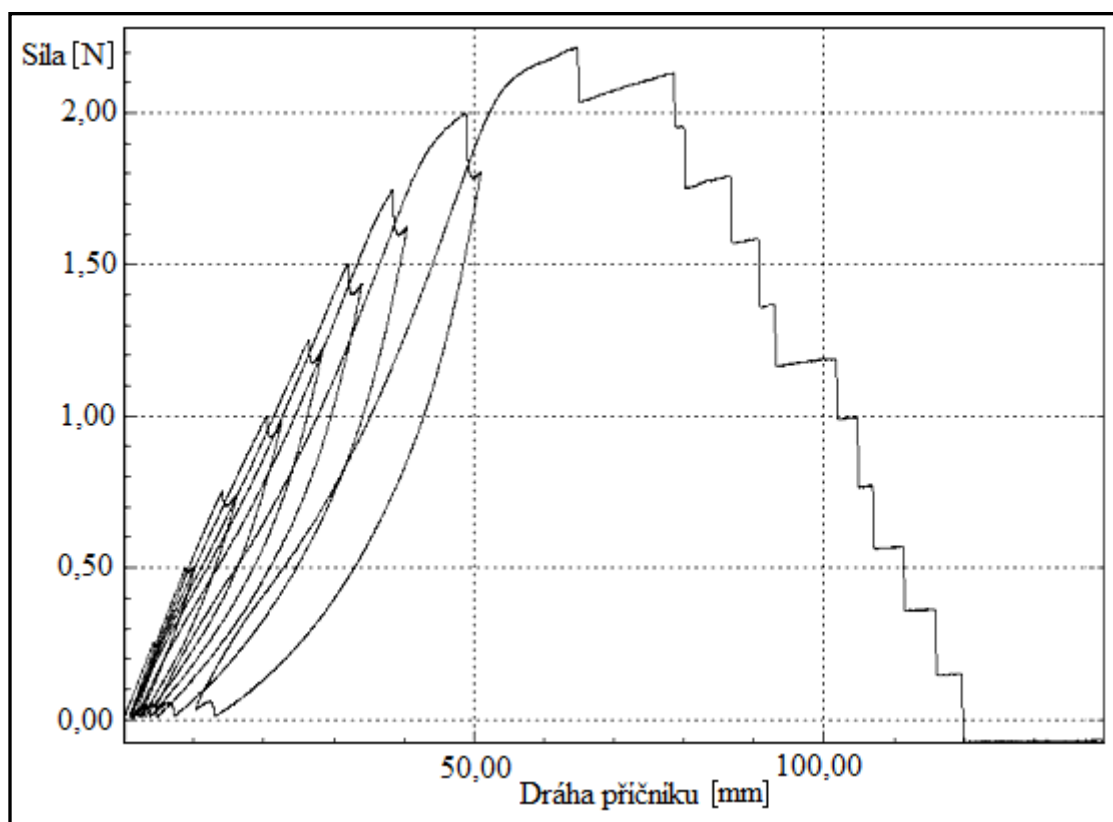


Obr. C.9 Pracovní křivka cyklického namáhání vlákna PA6 67f14.

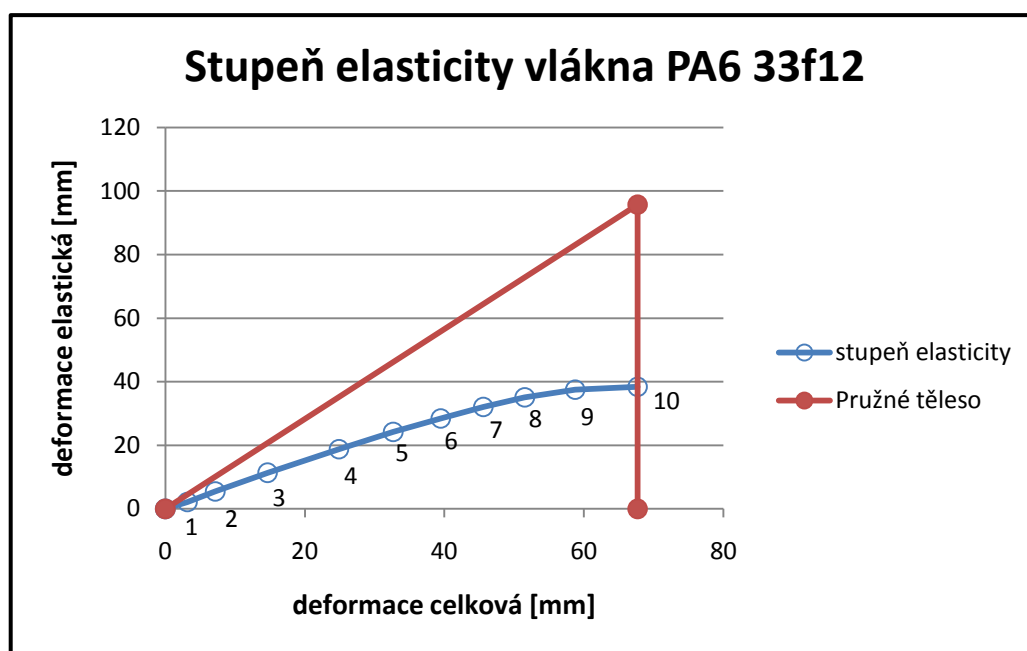
PRUŽNOST



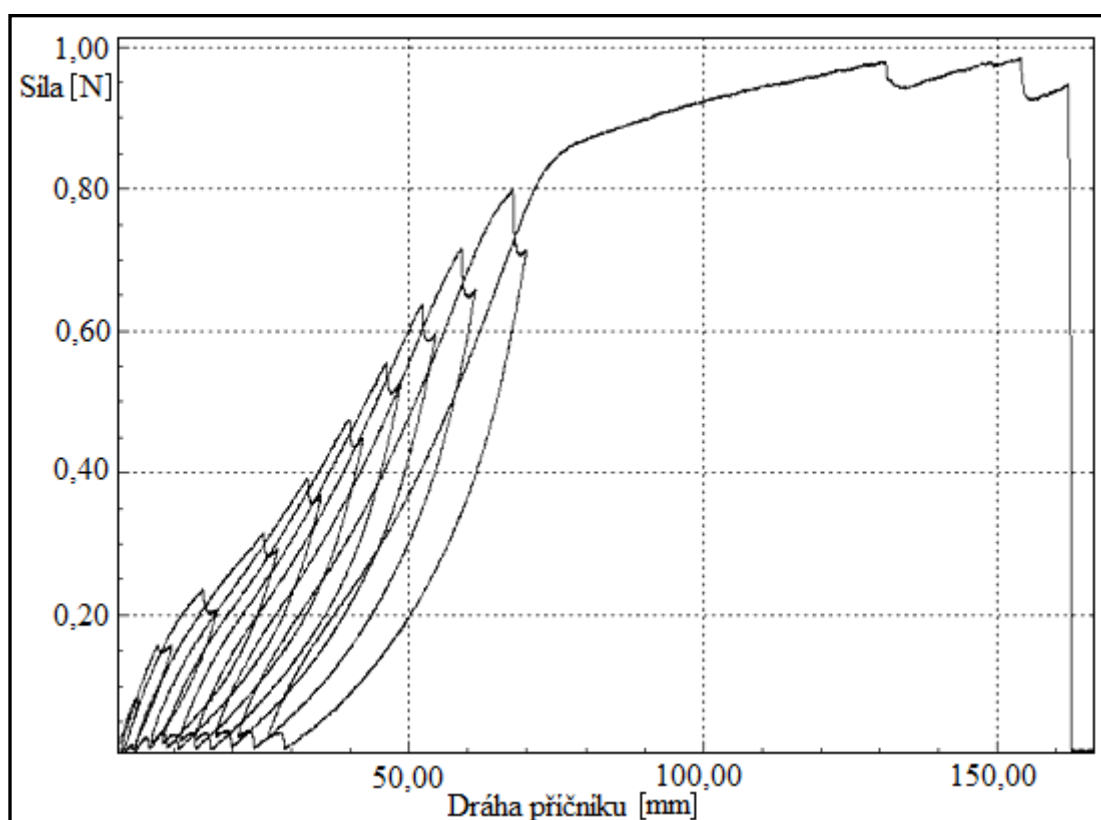
Obr. C.10 Průměrná pružnost vlákna PA6 67f12.



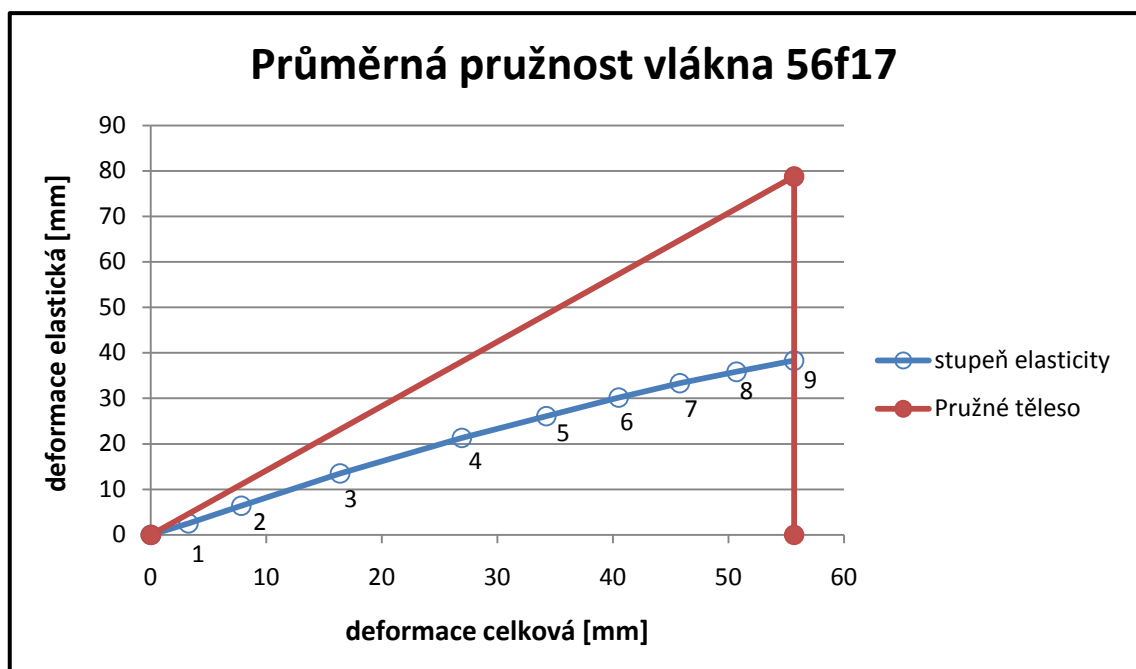
Obr. C.11 Pracovní křivka zkoušky pružnosti vlákna PA6 67f12.



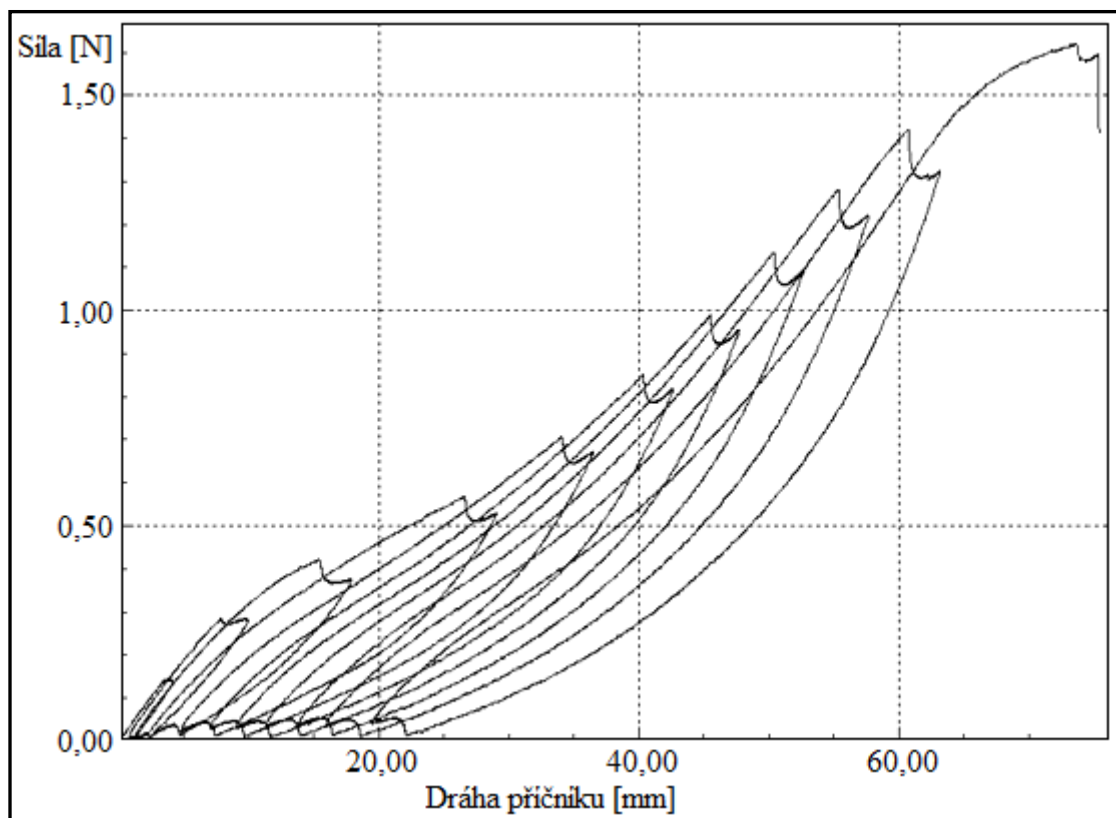
Obr. C.12 Průměrná pružnost vlákna PA6 33f12.



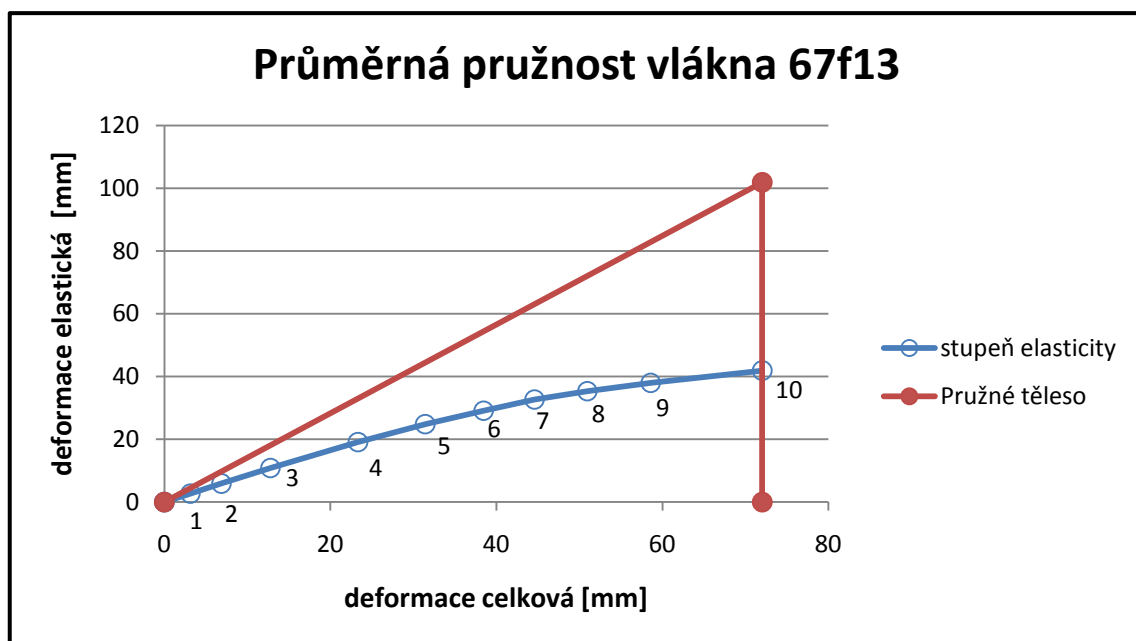
Obr. C.13 Pracovní křivka zkoušky pružnosti vlákna PA6 33f12.



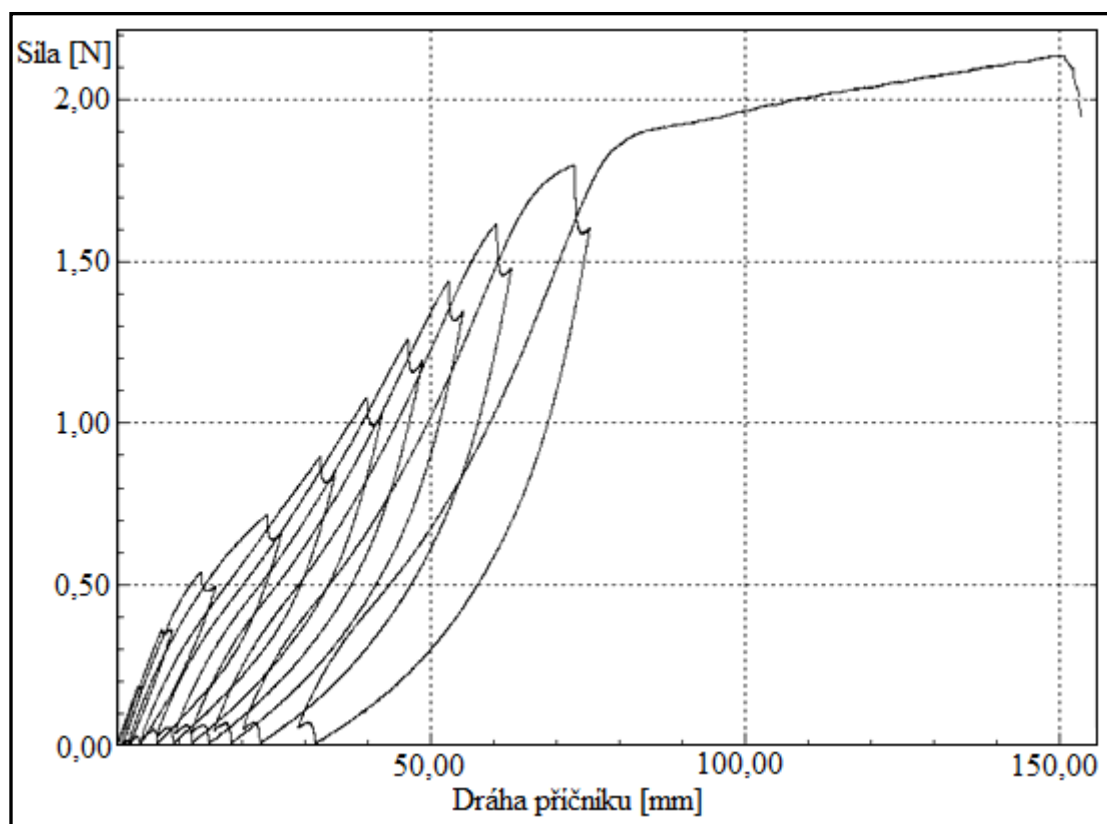
Obr. C.14 Průměrná pružnost vlákna PA6 56f17.



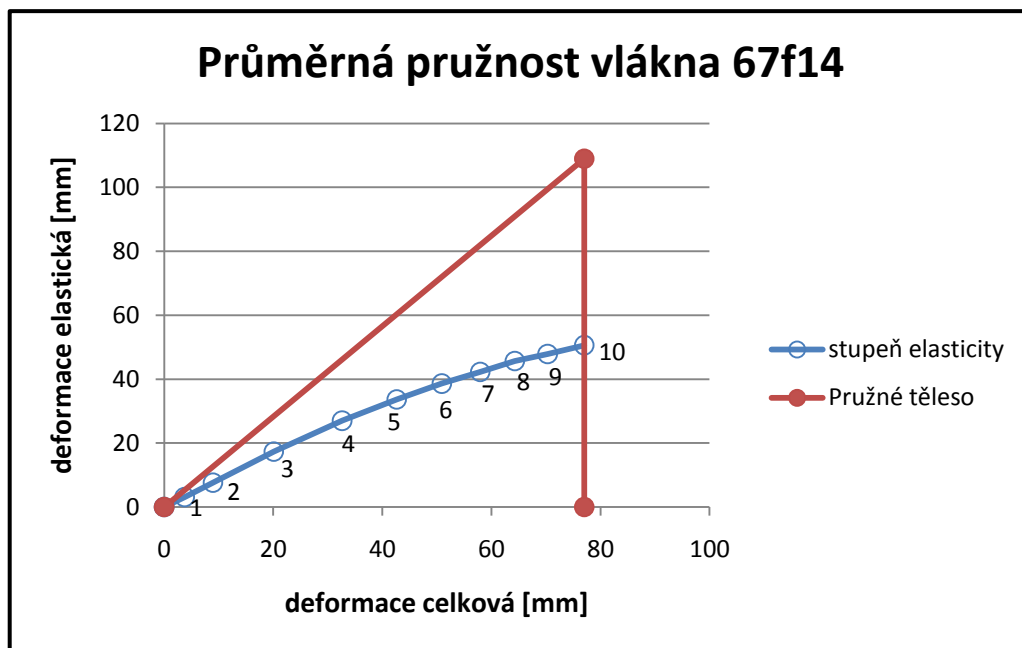
Obr. C.15 Pracovní křivka zkoušky pružnosti vlákna PA6 56f17.



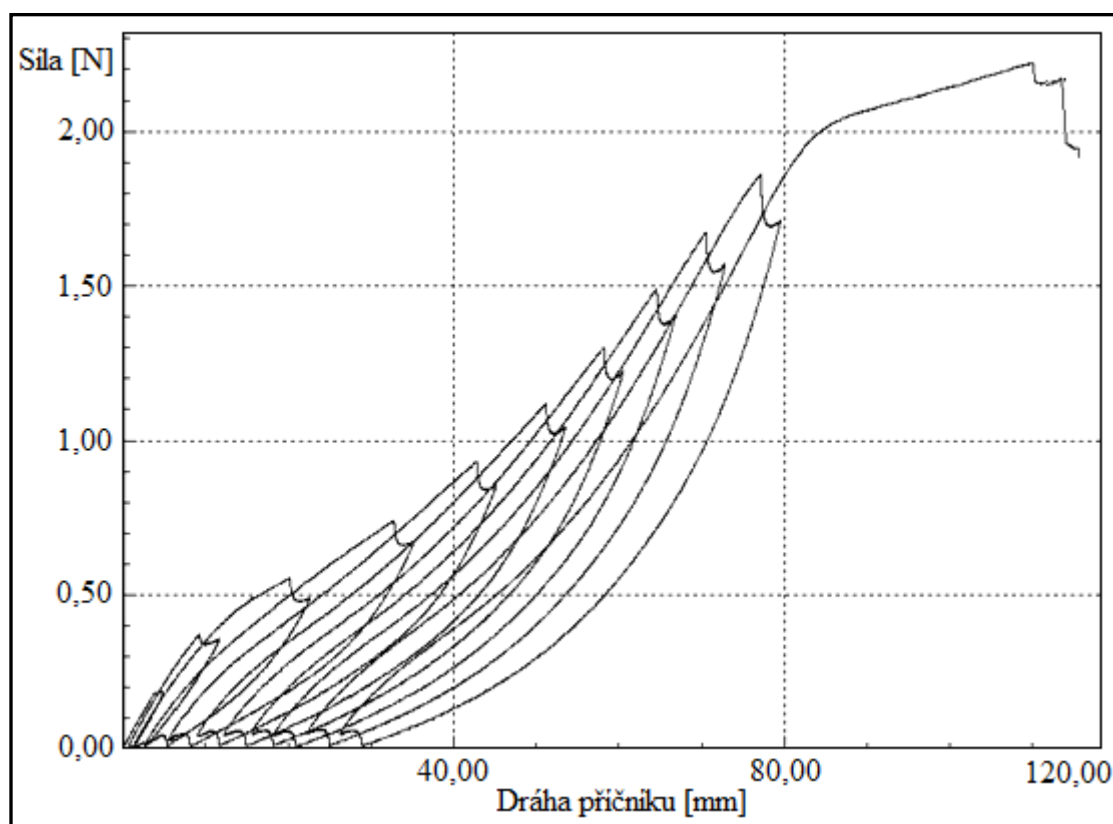
Obr. C.16 Průměrná pružnost vlákna PA6 67f13.



Obr. C.17 Pracovní křivka zkoušky pružnosti vlákna PA6 67f13.

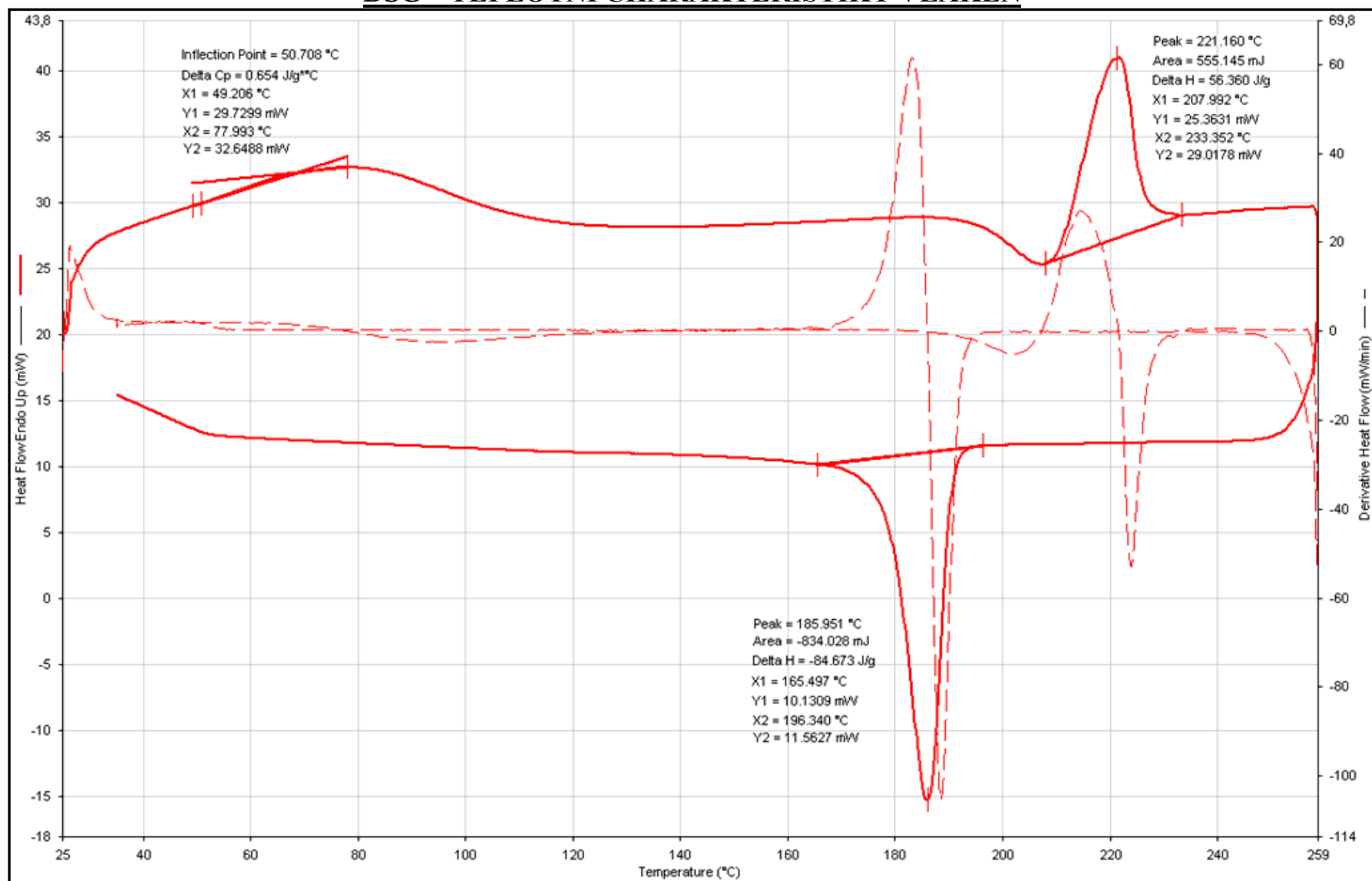


Obr. C.18 Průměrná pružnost vlákna PA6 67f14.

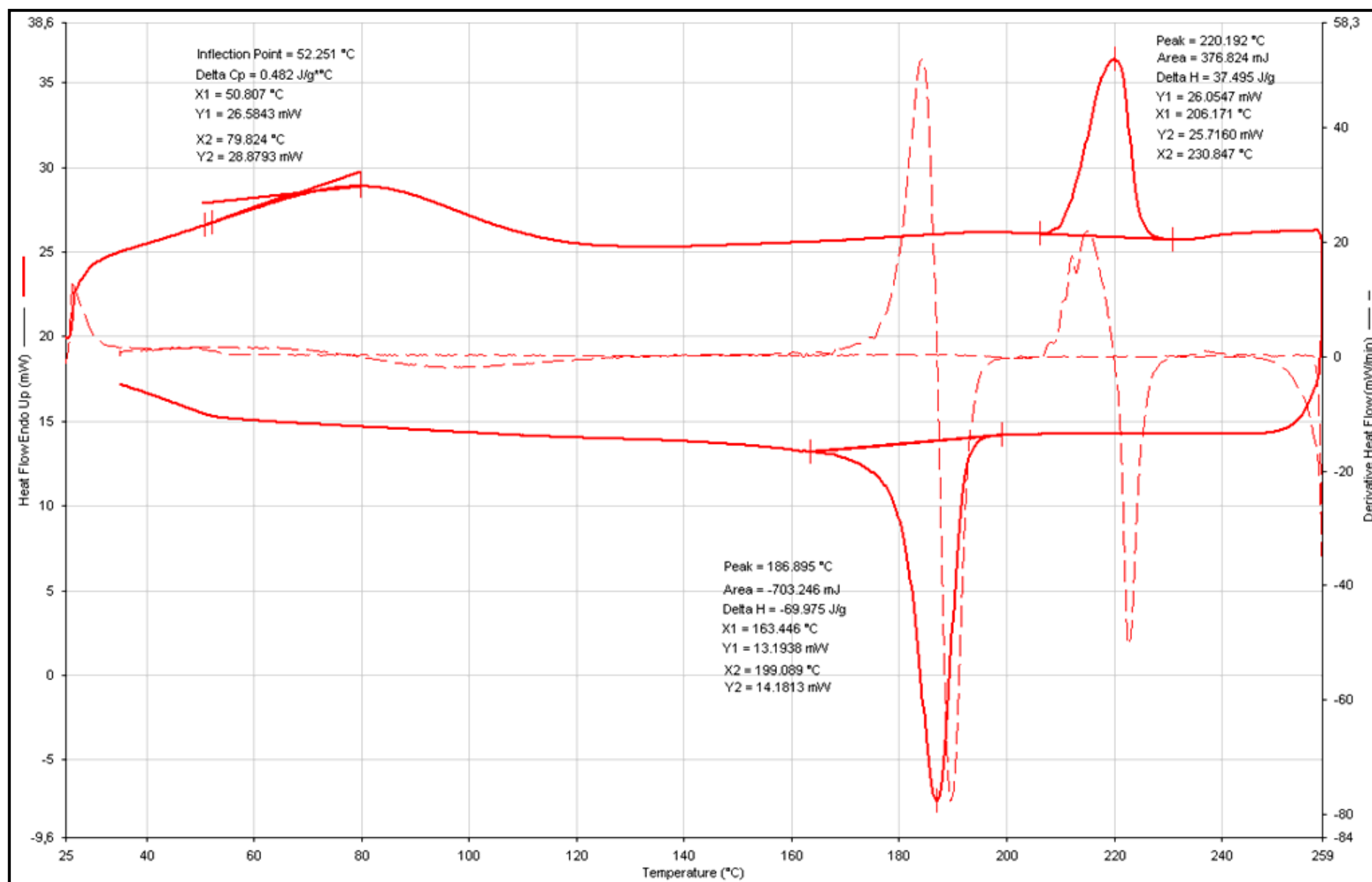


Obr. C.19 Pracovní křivka zkoušky pružnosti vlákna PA6 67f14.

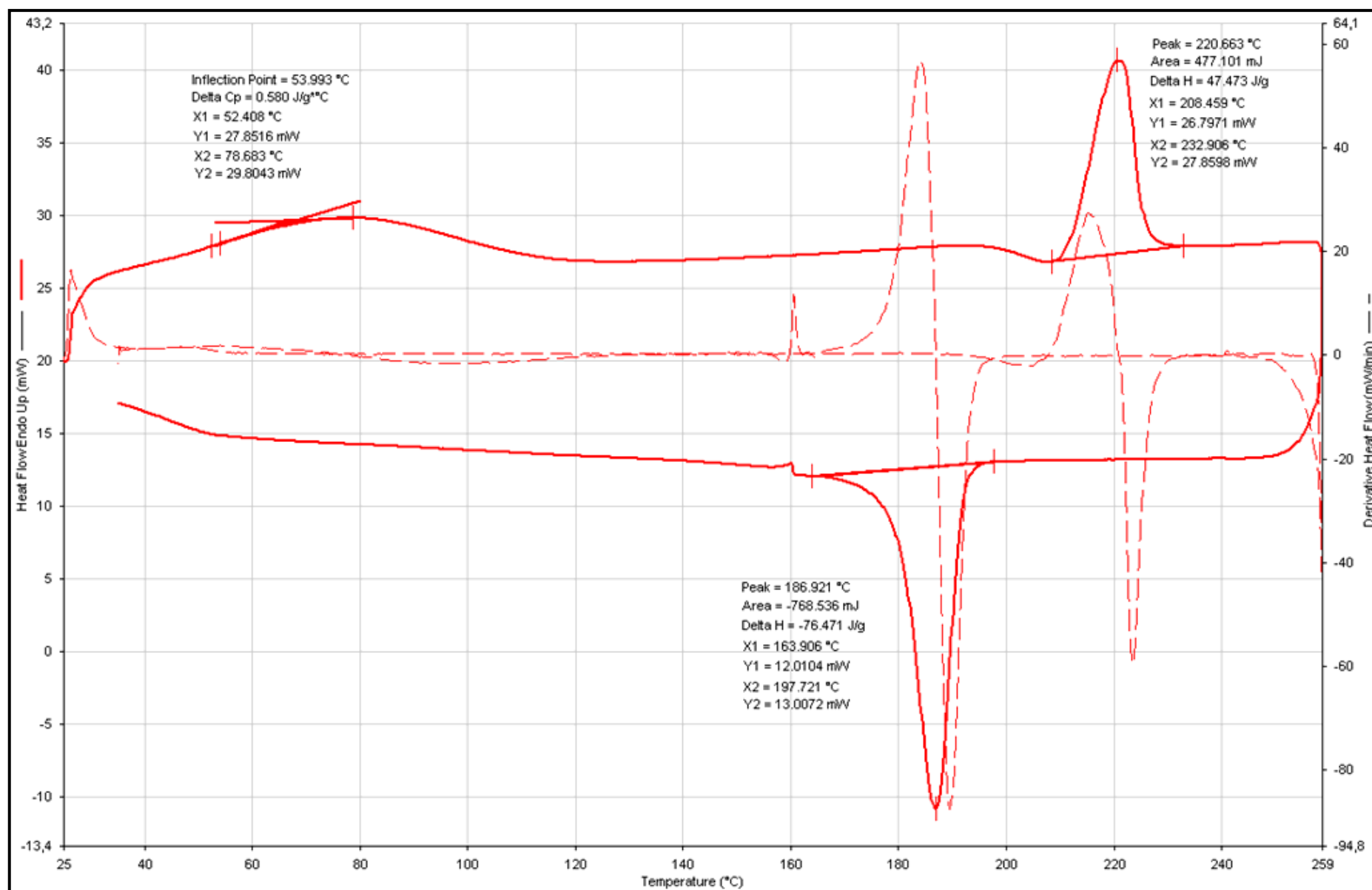
DSC – TEPLITNÍ CHARAKTERISTIKY VLÁKEN



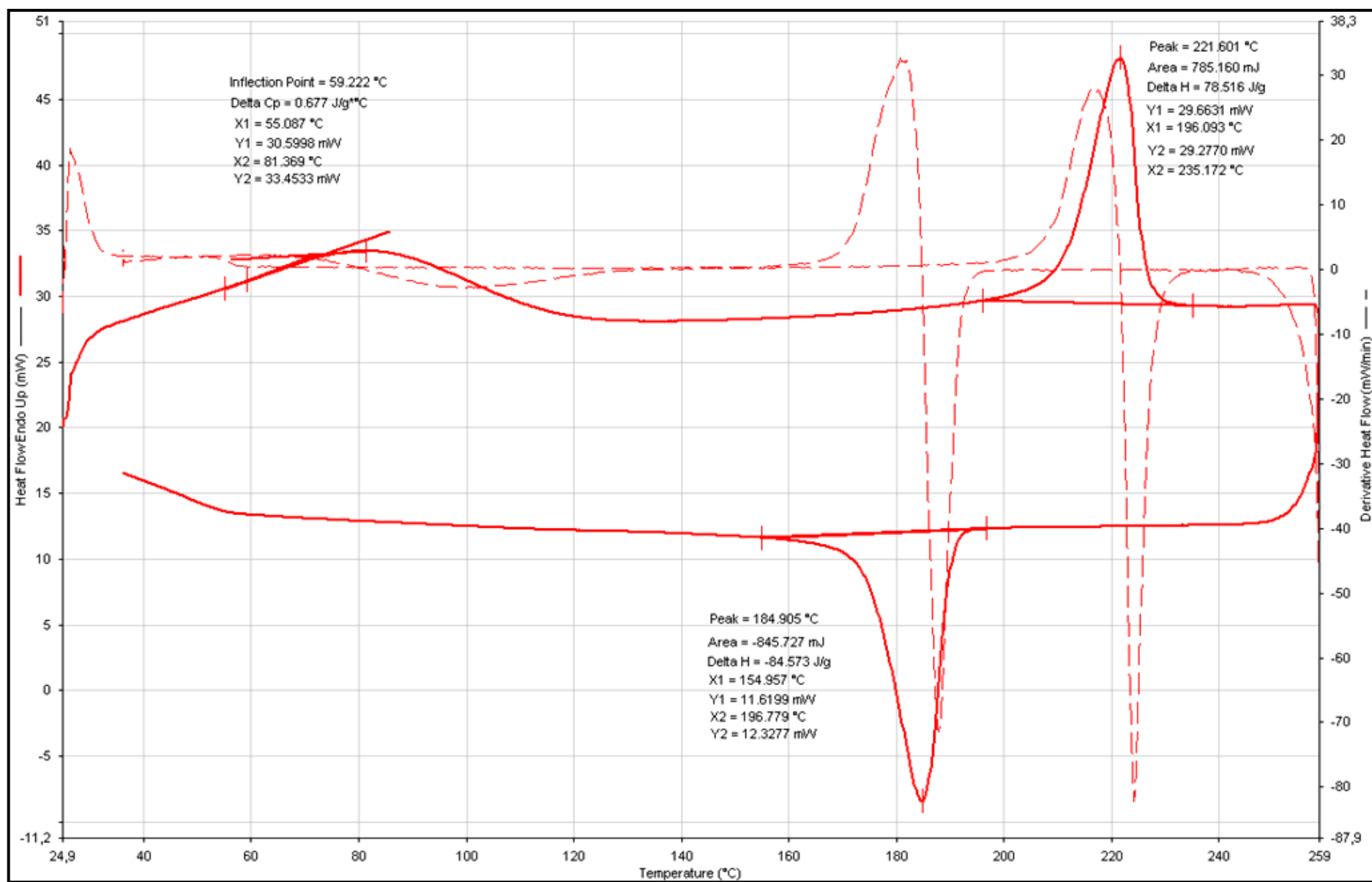
Obr. C.20 Křivka DSC vlákna PA6 67f12.



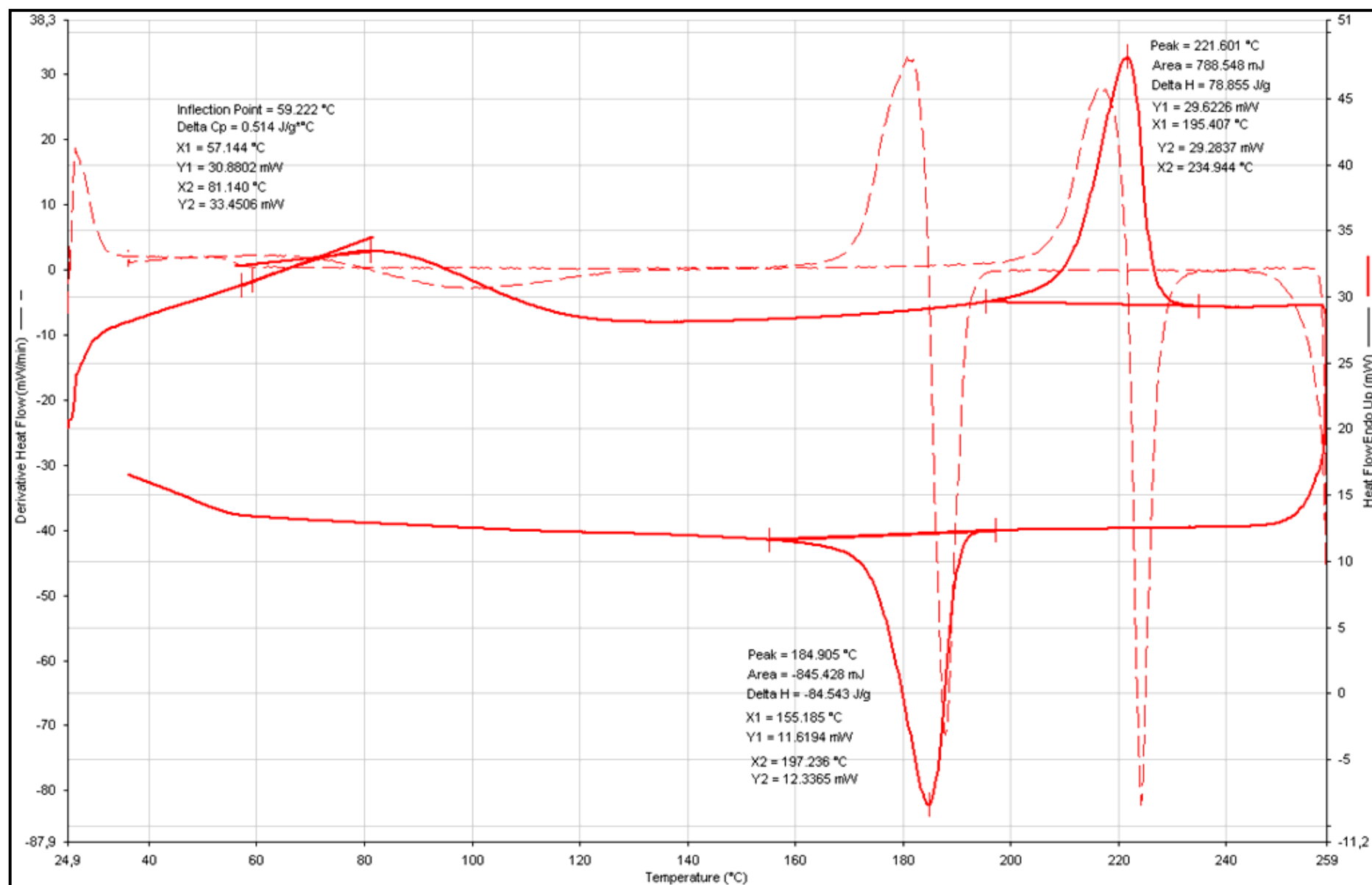
Obr. C.21 Křivka DSC vlákna PA6 33f12.



Obr. C.22 Křivka DSC vlákna PA6 56f17.



Obr. C.23 Křivka DSC vlákna PA6 67f13.



Obr. C.24 Křivka DSC vlákna PA6 67f14.

